

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÃO
HABITACIONAL DE ÂMBITO SOCIAL CONFORME A NBR 15.575**

Ellin Maiara Kuhn

Lajeado, junho de 2015

Ellin Maiara Kuhn

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÃO
HABITACIONAL DE ÂMBITO SOCIAL CONFORME A NBR 15.575**

Monografia apresentada a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Zanetti Rocha

Lajeado, junho de 2015

Ellin Maiara Kuhn

ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÃO HABITACIONAL DE ÂMBITO SOCIAL CONFORME A NBR 15.575

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Dr. Leonardo Zanetti Rocha – orientador
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Rafael Mascolo
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Rodrigo Spinelli
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, junho de 2015

Aos meus pais,
Elton e Ilaini Kuhn, fundamentais para essa conquista.

AGRADECIMENTOS

Estendo meus agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, dentre os quais destaco:

Primeiramente a Deus, por me dar força, otimismo e sabedoria para não desistir frente as dificuldades e seguir firme em busca dos meus sonhos.

Em segundo, a meu pai Elton Kuhn e minha mãe Ilaini Kuhn, que dedicaram todos seus esforços a mim, trabalhando incansavelmente para me proporcionar estudo, pois sem eles eu não seria nada.

Meu professor orientador Leonardo Zanetti Rocha e professor Rafael Mascolo que sempre estiveram dispostos a transpor conhecimento e orientar a realização deste trabalho.

Ao professor Rodrigo Spinelli e novamente ao professor Rafael Mascolo pela disposição em compor a banca examinadora e avaliar o presente trabalho.

Ao itt Performance, coordenador Bernardo Fonseca Tutikian, e técnico Rafael Heissler, que possibilitaram a realização das medições em campo necessárias na elaboração do estudo de caso deste trabalho.

E finalmente, aos colegas, familiares e amigos pelo incentivo, apoio, paciência e auxílio na troca de informações que contribuiu para cumprimento dos prazos e elaboração deste trabalho.

RESUMO

O ruído é um fator impactante econômica e financeiramente na vida das pessoas e de organizações, além de ser apontado como uma das principais causas de deterioração da qualidade de vida humana nas grandes cidades. Buscando a melhoria da eficiência da edificação como um todo, foi criada a Norma de Desempenho, NBR 15.575 na qual o Brasil passa a enxergar todas as edificações habitacionais de forma sistêmica, incluindo àquelas atendidas pelo Programa Minha Casa Minha Vida. A partir dela, todos os sistemas devem funcionar simultaneamente, atendendo a determinadas exigências. Uma dessas exigências trata-se, justamente, do desempenho acústico da edificação. Sendo assim, elaborou-se o presente trabalho com o intuito de avaliar através de ensaios de campo o desempenho acústico de vedações verticais e horizontal internas, e vertical de fachada sob a incidência de ruídos aéreos de uma edificação habitacional atendida pelo Programa Minha Casa Minha Vida, na cidade de Lajeado. É realizada uma breve revisão bibliográfica e após são descritos os quatro procedimentos de medição realizados através do método de engenharia estabelecido pela norma, e avaliados os resultados de acordo com os requisitos da mesma. A primeira medição, realizada entre dormitórios de uma mesma unidade, apresentou uma diferença de nível de pressão sonora padronizada ponderada ($D_{nT,w}$) igual a 41 dB. Já a segunda medição, realizada entre unidades geminadas, resultou em um $D_{nT,w}$ de 44 dB enquanto que a medição realizada entre pisos, apresentou diferença de nível igual a 49 dB. Todas essas medições foram classificadas dentro do desempenho mínimo exigido pela Norma em questão. Entretanto, a medição realizada para avaliar o isolamento sonoro aéreo da fachada, cujo nível levantado foi igual a 23 dB, não apresentou o requisito mínimo de desempenho acústico, conforme a NBR 15.575.

Palavras-chave: Ruídos aéreos. Norma de desempenho. Isolamento acústico.

ABSTRACT

The noise is a impactful factor economically and financially in the life of the people and organizations, besides being appointed as one of the main reason for the human's quality life deterioration. Looking for the improvement of edification as an entire, has been created the “Norma de Desempenho, NBR 15.575” (Standard Performance) where the Brazil passes to see all residential buildings in a systematic way, including those served by the program “Minha Casa Minha Vida”. From it, all systems must work simultaneously, meeting certain requirements. One of these requirements is precisely the acoustic performance of the building. This way, was elaborated the present work, in order to assess through the field test, the acoustic performance of vertical and horizontal internal partition and facade vertical partition, under the incidence of airborne noise of a residential building of “Minha Casa Minha Vida”, in the city of Lajeado. Is carried out a short bibliographic review, then is described the four measures procedures performed by the engineering method established by the standard, and evaluated the results as the requirements. The first measurement was carried out between bedrooms of the same unit and presented a level of standardized weighted sound pressure difference ($D_{nT,w}$) equal to 41 dB. The second measurement, carried out between twinned units, resulted in a $D_{nT,w}$ 44 dB, while the measurement carried out between floors, made level difference equal to 49 dB. All these measurements were classified within the minimum performance required by the standard in question. However, the measurement performed to evaluate the air sound insulation of the facade, which measured level was equal to 23 dB, did not present the minimum requirement of acoustic performance, according to NBR 15.575.

Keywords: Airborne noises. Standard performance. Acoustic insulation.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A -	amplitude
ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNDES -	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBIC -	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEF -	Caixa Econômica Federal
Conmetro -	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
EPS -	<i>Expanded Polystyrene</i>
f -	frequência
FAR -	Fundo de Arrendamento Residencial
FDS -	Fundo de Desenvolvimento Social
FGHab -	Fundo Garantidor da Habitação Popular
Hz -	Hertz
IPT -	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
NBR -	Norma Brasileira
PAC –	Programa de Aceleração do Crescimento
PMCMV –	Programa Minha Casa Minha Vida
PNAD -	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNHR -	Programa Nacional de Habitação Rural
PNHU -	Programa Nacional de Habitação Urbana
SindusCon-SP -	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
SVVE -	Sistema de Vedações Verticais Externas
T -	período
USP -	Universidade de São Paulo

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Amplitude e comprimento de onda	27
Figura 2 – Curvas isofônicas	28
Figura 3 – Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano.....	29
Figura 4 – Propagação de ruído aéreo através da parede	32
Figura 5 – Propagação de ruído aéreo através do piso	33
Figura 6 – Comportamento de material absorvente e isolante sob incidência do som	34
Figura 7 – Exemplo genérico de um sistema de piso e seus elementos	44
Figura 8 – Esquema de medição de ruído aéreo entre vedação vertical	68
Figura 9 – Imagem ilustrativa da distribuição de pontos no recinto emissor	71
Figura 10 – Imagem ilustrativa da distribuição de pontos no recinto receptor.....	72
Figura 11 – Esquema de medição de ruído aéreo entre piso	72
Figura 12 – Imagem ilustrativa da distribuição de pontos no recinto receptor e exterior	74
Figura 13 – Posicionamento da fonte sonora a 45° da fachada	75
Figura 14 – Macrolocalização do empreendimento	82
Figura 15 – Fachada do empreendimento	82
Figura 16 – Calibrador modelo Sound Calibrator Type 4231, precisão $\pm 0,2$ dB.....	84
Figura 17 - Microfone de campo livre, modelo: 4189 - $\frac{1}{2}$ polegadas - de 6,3 Hz a 20 kHz	84
Figura 18 – Amplificador de potência modelo: <i>Power Amplifier - Type 2734</i>	85
Figura 19 – Fonte dodecaédrica modelo: <i>OmniPower Sound Source - Type 4292-L</i>	85
Figura 20 – Analisador modelo: sonômetro analisador 2270	86
Figura 21 – Disposição dos QUARTOS 1 e 2 no apartamento 1	91
Figura 22 – Disposição da vedação entre ambientes de unidades geminadas - apartamentos 1 e 2	97
Figura 23 – Disposição da vedação horizontal entre ambientes de unidades geminadas sobrepostas – 6° e 7° pavimentos	102
Figura 24 – Localização da fachada medida	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Obtenção do valor único conforme ISO 717-1 – medição entre dormitórios.....	95
Gráfico 2 – Obtenção do valor único conforme ISO 717-1 – medição entre unidades distintas	100
Gráfico 3 – Obtenção do valor único conforme ISO 717-1 – medição entre pisos ..	105
Gráfico 4 – Obtenção do valor único conforme ISO 717-1 – medição de fachada..	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Correspondência aproximada da propagação sonora.....	33
Quadro 2 – Distribuição de subsídios do PMCMV segundo as três faixas de renda.	36
Quadro 3 – Critério de Vida Útil de Projeto (VUP).....	39
Quadro 4 – NBR 15.575 - parâmetros, métodos e normas de medição de ruídos....	41
Quadro 5 – Ficha técnica do empreendimento.....	81
Quadro 6 – Valores de referência para ruído aéreo em bandas de 1/3 de oitava	89
Quadro 7 – Dados da medição entre os QUARTOS 1 e 2	92
Quadro 8 – Resultado da medição entre dormitórios	95
Quadro 9 – dados da medição entre unidades distintas	97
Quadro 10 – Resultado da medição entre unidades distintas	100
Quadro 11 – Dados da medição entre pisos	102
Quadro 12 – Resultado da medição entre pisos	105
Quadro 13 – dados da medição de fachada	108
Quadro 14 – Resultado da medição de fachada	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correções para ponderação em “A”	30
Tabela 2 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$	45
Tabela 3 – Influência da $D_{nT,w}$ sobre a inteligibilidade da fala, para ruído no ambiente	48
Tabela 4 – Valores mínimos, intermediário e superior de $D_{nT,w}$, entre ambientes	50
Tabela 5 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes	51
Tabela 6 - Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$, para ensaios de campo	53
Tabela 7 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas	54
Tabela 8 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes	79
Tabela 9 – Valores recomendados da diferença padronizada de nível ponderada e ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório	80
Tabela 10 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$ entre pisos	80
Tabela 11 – Valores de T_{20} , L_1 , L_2 , D e D_{nT} por frequência para medição da vedação vertical entre QUARTO 1 e QUARTO 2	93
Tabela 12 – Procedimento ISO 717-1 para obtenção do valor único – entre dormitórios	94
Tabela 13 – Valores médios de T_{20} , L_1 , L_2 , D e D_{nT} por frequência para medição da vedação vertical entre unidades distintas	98
Tabela 14 – Procedimento ISO 717-1 para obtenção do valor único – entre unidades distintas	99
Tabela 15 – Valores de T_{20} , L_1 , L_2 , D e D_{nT} por frequência para medição da vedação vertical entre pisos	103
Tabela 16 – Procedimento ISO 717-1 para obtenção do valor único – entre pisos	104
Tabela 17 – Valores de T_{20} , L_1 , L_2 , D e $D_{2m,nT}$, por frequência para medição da vedação vertical externa de fachada	109
Tabela 18 – Procedimento ISO 717-1 para obtenção do valor único – medição de fachada	110

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Relevância da pesquisa	20
1.2 Objetivos	21
1.2.1 Objetivo geral	21
1.2.2 Objetivos específicos.....	21
1.3 Limitações da pesquisa.....	22
1.4 Estrutura da pesquisa.....	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1 Fundamentos de acústica	24
2.1.1 Som e ruído.....	24
2.1.1.1 Frequência	25
2.1.1.2 Período	26
2.1.1.3 Amplitude	26
2.1.2 O decibel	27
2.1.3 Percepção do som.....	28
2.1.4 Escalas de ponderação: o db (A)	29
2.1.5 Tempo de reverberação	30
2.2 Propagação do ruído.....	31
2.3 Absorção do ruído	34
2.4 Isolamento de ruídos	35
2.5 O Programa Minha Casa Minha Vida	35
2.6 Normatização.....	36
2.6.1 Norma de desempenho na construção civil, NBR 15.575.....	37
2.6.1.1 Vida útil (VU) e vida útil de projeto (VUP).....	38
2.6.1.2 Fragmentação da norma.....	39
2.6.2 Norma de Desempenho Acústico no Brasil	40
2.6.3 Normatização internacional para medição de ruídos aéreos	42
2.6.3.1 ISO 140 parte 4	42
2.6.3.2 ISO 140 parte 5	42
2.6.3.3 ISO 717-1	43
2.6.3.4 ISO 16.283-1	43
2.6.4 Sistema de pisos	44
2.6.5 Sistema de vedações verticais internas - paredes.....	48
2.6.6 Medição de ruído aéreo do sistema de vedações verticais externas	52

3 METODOLOGIA	55
3.1 Localização e identificação do empreendimento e unidades medidas	57
3.1.1 Elementos construtivos a serem avaliados	58
3.1.2 Localização dos elementos nos ambientes medidos	58
3.2 Método de medição e normalização	59
3.3 Equipamentos.....	59
3.3.1 Calibrador	60
3.3.2 Microfone	60
3.3.3 Amplificador de Potência.....	60
3.3.4 Fonte Dodecaédrica	61
3.3.5 Analisador 1/3 de oitava.....	61
3.4 Calibração	61
3.5 Definições	62
3.5.1 Nível médio de pressão sonora em um ambiente (L).....	62
3.5.2 Diferença de nível de pressão sonora (D)	63
3.5.3 Diferença de nível de pressão sonora a 2 metros da fachada (D_{2m})	63
3.5.4 Diferença de nível padronizada (D_{nT})	63
3.5.5 Diferença de nível padronizada, $D_{2m,nT}$	64
3.5.6 Diferença de nível normalizada, $D_{2m,n}$	64
3.5.7 Índice de redução sonora aparente (R')	65
3.6 Medição das condições ambientais	66
3.7 Geração de som no ambiente emissor.....	67
3.8 Medição do tempo de reverberação	67
3.9 Absorção sonora equivalente (A)	68
3.10 Medição do nível médio de pressão sonora (L).....	69
3.10.1 Medição do isolamento sonoro aéreo entre vedações	71
3.10.2 Medição do isolamento sonoro aéreo entre pisos	72
3.10.3 Medição do isolamento sonoro aéreo de fachadas.....	73
3.11 Correção do ruído de fundo	76
3.12 Obtenção do valor global	77
3.13 Relatório de resultados.....	77
3.14 Requisitos de avaliação.....	78
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	81
4.1 Etapas do Processo de Medição <i>in loco</i>	83
4.1.1 Equipamentos utilizados	84
4.1.2 Medição do tempo de reverberação T_{20}	87
4.1.3 Medição D_{nT}	87
4.1.4 Tratamento de Dados	87
4.2 Resultados	89
4.2.1 Características da composição dos elementos de vedação	90
4.2.2 Medição entre dormitórios	90
4.2.3 Medição entre unidades distintas – parede de geminação	96
4.2.4 Medição vertical – ruído aéreo de piso.....	101
4.2.5 Medição vedação vertical externa – fachada	106
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
REFERÊNCIAS.....	119
APÊNDICES	123
Apêndice A - Posições de fonte e microfone para medição do tempo de reverberação T_{20} no recinto receptor – entre dormitórios	124
Apêndice B - Posições de fonte e microfone para medição do L_1 no recinto	

emissor – entre dormitórios	125
Apêndice C - Posições de fonte e microfone para medição do L_2 no recinto receptor – entre dormitórios	126
Apêndice D - Posições de fonte e microfone para medição do tempo de reverberação T_{20} no ambiente receptor – entre unidades distintas.....	127
Apêndice E - Posições de fonte e microfone para medição do L_1 no recinto emissor – entre unidades distintas	128
Apêndice F - Posições de fonte e microfone para medição do L_2 no ambiente receptor – entre unidades distintas.....	129
Apêndice G - Posições de fonte e microfone para medição do tempo de reverberação T_{20} no ambiente receptor – entre pisos.....	130
Apêndice H - Posições de fonte e microfone para medição do L_1 no recinto emissor – entre pisos	131
Apêndice I - Posições de fonte e microfone, nos recintos emissor e receptor, respectivamente, para medição do L_2 – entre pisos	132
Apêndice J - Posições de fonte e microfone para medição do tempo de reverberação T_{20} no ambiente receptor – medição de fachada.....	133
Apêndice K - Posições de fonte no ambiente emissor e microfone a 2 m da fachada para medição do $L_{1,2m}$ – medição de fachada	134
Apêndice L - Posições de fonte e microfone, nos recintos emissor e receptor, respectivamente, para medição do L_2 – medição de fachada.....	135
Apêndice M – Imagem da medição realizada entre dormitórios	136
Apêndice N – Imagem da medição realizada entre pisos	137

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Caixa Econômica Federal (CEF, 2011), o Brasil apresentou nas últimas décadas, grandes transformações no aspecto habitacional. Os fatores decisivos para a urbanização acelerada e desordenada das cidades teriam sido: a emigração da área rural para as cidades, o envelhecimento da população e modificações nas configurações familiares.

O êxodo rural, fenômeno ocorrido em decorrência do abandono do campo por trabalhadores rurais que se transferiram para os centros urbanos em busca de oportunidades de empregos estáveis e melhores condições de vida, se deu de forma mais intensa na década de 1960, ocasionando a concentração de domicílios nas grandes metrópoles (CEF, 2011).

De acordo com a Caixa (2011), na metade da década de 60, a população urbana ultrapassou a população rural e no ano de 2000 já representava mais de 80% do total da população do país. Esse crescimento desproporcional culminou na expansão das grandes metrópoles em direção à periferia, instalando-se a partir daí o processo de favelização, que trouxe graves problemas urbanos.

Segundo Moreira apud Caixa Econômica Federal (2011), a modificação da estrutura etária da população brasileira também contribui para as transformações das cidades, quando a população idosa se torna considerável em relação à população jovem.

O terceiro e fundamental fator, que induz diretamente a um aumento do número de domicílios é a diversificação dos arranjos familiares que teve início na década de

60. Com a introdução de novos conceitos sociais houve mudanças de comportamento dos indivíduos no que diz respeito à ocorrência de separações, divórcios e recomposições conjugais. Hoje é possível observar a perda da relevância da família tradicional para a monoparental e para outros arranjos constituídos por vários membros de uma mesma família ou apenas parentes mais íntimos.

Essa situação refletiu no crescimento da população brasileira. No período entre 1970 e 2010, houve um crescimento de 104,78%, enquanto os domicílios particulares permanentes ocupados cresceram 220,68% (CEF, 2011).

Associado a isso, de acordo com dados de 2010 do CENSO, apud Caixa Econômica Federal (2011), desde a década de 70 até hoje ainda houve uma redução da quantidade de moradores por domicílios. No ano de 1970 foi computada a existência de 17.629 mil domicílios no território brasileiro para uma população de 93.135 mil habitantes, ou seja, 5,28 hab/dom, enquanto que em 2010, esses números aumentaram para 56.541 mil domicílios para 190.732 mil habitantes, o que representa a média de 3,37 hab/dom.

A PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios) de 2009 mostra a heterogeneidade da quantidade média de habitantes por domicílio, entre as regiões do Brasil, sendo menor na região Sul e maior para a Região Norte (CEF, 2011).

Além disso, a distribuição de residências se dá de forma heterogênea. Nenhum imóvel é igual ao outro, mesmo para uma única tipologia, e isso atribui a cada unidade habitacional um preço diferente, resultado das características de localização no espaço urbano e também da sua singularidade, observada em relação às características espaciais e estruturais. Sabendo disso e levando em consideração o fato da “bem habitação”, compreendido também como unidade residencial, ser um bem imóvel, ou seja, impossível de ser deslocado para compensar a sua carência em outra localização configura-se um quadro de déficit habitacional no país (CEF, 2011).

Garcia e Castelo, apud Caixa Econômica Federal (2011), têm como déficit habitacional, as questões relacionadas às carências habitacionais de uma determinada sociedade não restritas à falta de moradias, mas também as más condições das unidades habitacionais existentes.

Para eles “[...] o déficit habitacional é uma fotografia que mostra o excesso de população que necessita de habitações. Ou seja, é o excedente entre a demanda e oferta de um bem de caráter social” (CEF, 2011, p. 22).

A Fundação João Pinheiro (2005), pioneira no estudo envolvendo a formulação da Política Habitacional, tema adotado pelo Ministério das Cidades, conceitua o déficit habitacional como as deficiências do estoque de moradias. No cálculo de déficit são consideradas as moradias em estado precário que precisam ser repostas, além das novas que representam um incremento do estoque, devido à coabitação familiar ou a moradia em locais inadequados.

As unidades residenciais produzidas em sua maioria pela iniciativa privada de forma independente estão associadas, geralmente, a programas do governo. Isso ocorre devido ao alto custo de produção, somado ao alto preço da terra urbana e impossibilidade de arcar com custos de financiamento imobiliário em condições de mercado, fatores que dificultam a aquisição e domicílio digno e seguro a população de menor renda. Sendo assim, as políticas públicas habitacionais são de suma importância no acesso dessa população à moradia (CEF, 2011).

Visando a recuperação da economia depois da crise norte americana no final de 2008, quando houve a redução de crédito privado, logo a queda de financiamentos e abalo do segmento de edificações residenciais, foram tomadas várias medidas anticíclicas. Entre essas medidas, está a desoneração tributária de alguns materiais de construção, a expansão do crédito para habitação, o aumento de recursos para o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e notadamente o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

O programa de financiamento habitacional do PMCMV, criado em 2009 pelo Governo Federal em parceria com os estados e municípios, gerido pelo Ministério das Cidades e operacionalizado pela Caixa Econômica Federal, prevê a construção de um milhão de residências com a concessão de subsídios, cujos valores estimados somam cerca de R\$ 34 bilhões (CEF, 2011).

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 201-), algumas falhas de mercado, provenientes principalmente da falta de padronização dos produtos e processos, tornam mais alto o custo habitacional e

dificultam o financiamento, diminuindo, assim, as chances da população de baixa renda de adquirir sua moradia.

O descompasso da normalização técnica do setor, associado às diferenças significativas entre os códigos de obras municipais, dificulta o aperfeiçoamento desejável na aceleração das construções, como a padronização e a industrialização dos processos construtivos.

A grande dificuldade de se estabelecer critérios necessários à homologação, à avaliação ou à aprovação de produtos ou processos construtivos inovadores, além da falta de instituições técnicas aptas a avaliar as inovações e as certificações, demonstram que a normalização, além de defasada, não é específica e/ou exequível em curto prazo. Ademais, há muita burocracia e desordem entre os órgãos das três esferas de governo (BNDES, 201-).

Pierrard apud Proacústica (2013), alerta para a necessidade de enfrentamento de várias questões, dentre elas o grande desconhecimento da Acústica no país, que segundo ele é uma barreira a ser ultrapassada.

O poeta romano Juvenal apud Bistafa (2006), nascido no ano 60 d.C., famoso por ter dito que pão e circo era tudo que os governantes precisavam para manter os romanos felizes (se referindo ao circo dos gladiadores e das brigas), já reclamava do ruído: “Quanto sono, lhe pergunto, posso ter eu nesta estalagem? As carroças passando fazendo estrondos, os gritos dos carroceiros presos no tráfego [...]”.

Segundo Bistafa (2006), essa declaração demonstra que, desde os tempos em que surgiram as cidades, o ruído já incomodava as pessoas.

O ruído impacta econômica e financeiramente a vida das pessoas e de organizações, e ainda é apontado como uma das principais causas de deterioração da qualidade de vida humana nas grandes cidades, pois reflete 24 horas por dia, representando assim o fator poluente mais ativo na vida das pessoas. Porém, não sendo associado diretamente como ameaça à vida como os demais poluentes, acaba ficando no fim da lista das prioridades ambientais (BISTAFA, 2006).

Desde a segunda metade do século passado, estudos vem sendo realizados e publicados em artigos incentivados pela Organização Mundial de Saúde, sobre questões de ruídos e seus efeitos sobre o homem (CARVALHO, 2006).

Esse subproduto do progresso já possui bibliografia extensa sobre os malefícios que pode causar à saúde, tais como:

- Perda parcial (e até mesmo total) da audição;
- Problemas gastrointestinais e cardiovasculares decorrentes das sucessivas contrações musculares;
- Problemas respiratórios e de secreções hormonais;
- Distúrbios no sistema nervoso.

Não importa a procedência: seja o ruído aeronáutico, ruído urbano, ruído industrial, nos grandes escritórios ou centros comerciais e até mesmo em habitações isoladas (eletrodomésticos em funcionamento), o ruído incomoda e causa malefícios à saúde: isto é fato inquestionável, largamente estudado e comprovado cientificamente (CARVALHO, 2006, p. 34).

Bistafa (2006) associa ao ruído, além dos problemas citados anteriormente, outros como perda do sono, falta de concentração, baixa produtividade e redução de oportunidades de repouso. Já Silva (2005), diz que devido ao ruído ser consequência do progresso da era da máquina, é esperado que aumente à medida que crescem as cidades.

Bistafa (2006) reitera que o ar, o meio pelo qual o ruído é emitido e propagado, é um bem público. Segundo ele, ao propagá-lo, pessoas, atividades de comércio, atividades de lazer, plantas industriais, instalações de serviços públicas e particulares estão condicionadas a fazê-lo de forma responsável sem prejudicar aos demais, considerando que o ruído afeta também outras propriedades que compartilham desse “bem público”.

Silva (2005) reforça que é essencial que se forme uma consciência sanitária, atenta para o assunto, de maneira que a coletividade, e não somente um, desperte e encare o problema com seriedade.

A indústria da construção brasileira tem melhorado seus parâmetros de qualidade. Trata-se de uma revolução conceitual sobre os requisitos mínimos de segurança para casas e edifícios residenciais que culminou com a criação da Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15.575 (ABNT, 2013) em vigor desde julho de 2013.

Segundo Campos, professor de Arquitetura da Universidade de São Paulo (USP) e superintendente do Comitê Brasileiro da Construção Civil da ABNT apud Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013), o Brasil estaria passando a enxergar o edifício de uma forma sistêmica, olhando para o todo, e não só para as partes. Para ele, a edição da NBR 15.575 representa uma mudança ocorrendo dentro de um processo de expansão do mercado imobiliário do Brasil, pois se trata de um nível de consenso nunca antes visto, entre o estado da arte da construção civil e as condições objetivas de realidade socioeconômica brasileira.

1.1 Relevância da pesquisa

De acordo com Baring apud Carneiro (2000), muitas pessoas que já ouviram falar de “conforto acústico” acabam confundindo com “salubridade acústica” e, dessa forma, tratam o assunto no plano do bem-estar supérfluo, esquecendo-se que a falta de cuidados acústicos causa prejuízos ao desempenho e à saúde de parcelas expressivas das populações que trabalham e repousam em circunstâncias adversas.

O advogado Carlos Pinto Del Mar, membro do Conselho Jurídico do Secovi-SP (Sindicato da Habitação) e do SindusCon-SP (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo) apud PINI (2010), ainda ressalta que as normas técnicas, mesmo não sendo leis, têm a força destas, logo, o seu cumprimento é de cunho obrigatório.

Segundo o BNDES, a política de financiamento, como é o caso do PMCMV, é fundamental para motivar o atendimento dos critérios mínimos e evolutivos de melhoria no setor da construção civil.

Motivado por esses fatores, e sabendo da atual vigência da NBR 15.575, esse trabalho busca apresentar um estudo da eficiência do desempenho acústico, no que

diz respeito aos ruídos aéreos medidos em edificações atendidas pelo padrão Minha Casa Minha Vida, localizadas na cidade de Lajeado.

1.2 Objetivos

A seguir serão traçados o objetivo geral e os objetivos específicos, focos do trabalho em questão.

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como propósito contextualizar, medir e analisar a eficiência do isolamento acústico em vista dos ruídos aéreos, equiparados aos níveis de desempenho mínimos exigidos pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), em edificação residencial atendida pelo padrão Minha Casa Minha Vida, na cidade de Lajeado – RS.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar a classe de ruído a ser empregada em vista da localização da edificação;
- b) Identificar pontos de medição dos ruídos aéreos nos ambientes da edificação;
- c) Medir o tempo de reverberação do ruído no ambiente receptor;
- d) Medir a $D_{2m,nT,w}$ (diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada);
- e) Medir a $D_{nT,w}$ (diferença padronizada de nível ponderada) entre piso;
- f) Medir a $D_{nT,w}$ (diferença padronizada de nível ponderada) entre unidades autônomas geminadas;
- g) Medir a $D_{nT,w}$ (diferença padronizada de nível ponderada) entre recintos da mesma unidade;

h) Comparar os valores obtidos através das medições, com os parâmetros de isolamento sonoro estabelecido na norma de desempenho NBR 15.575;

i) Avaliar o atendimento dos limites de desempenho acústico das unidades em vista das medições realizadas;

j) Sugerir alternativas para melhoria da capacidade de isolamento sonoro aéreo da habitação caso o desempenho mínimo não tenha sido alcançado.

1.3 Limitações da pesquisa

Este trabalho estará limitado a avaliação de desempenho acústico das edificações frente à norma de desempenho NBR 15575, quanto da incidência de ruídos aéreos para as três situações: entre piso, entre vedações verticais de isolamento interno e entre unidades autônomas e para fachada.

1.4 Estrutura da pesquisa

Após a introdução, o Capítulo 2 discorre sobre o referencial teórico, onde serão abordados assuntos necessários visando garantir o embasamento do trabalho, permitindo ao leitor ter um entendimento pleno do assunto foco do trabalho, que nesse caso é a averiguação dos níveis de desempenho acústico, em relação aos ruídos aéreos medidos em habitação de padrão Minha Casa Minha Vida situada na cidade de Lajeado.

O Capítulo 3 apresenta os métodos, correções, equipamentos e materiais envolvidos nas medições e avaliações que serão realizadas a fim de atingir os objetivos deste trabalho.

O Capítulo 4 apresenta a descrição dos procedimentos efetuados, características dos ambientes medidos, imagens ilustrativas para situar pontos medidos, tabelas e gráfico gerados através dos valores obtidos, análise das medições realizadas e avaliação dos resultados obtidos.

O Capítulo 5 traz algumas considerações realizadas a fim de contextualizar o conteúdo do trabalho, interpretação dos resultados e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo tem como objetivo apresentar assuntos que possuem relação direta com os conceitos de acústica, como som, ruído, propagação do som, absorção do som, tempo de reverberação, etc., apresentar o Programa Minha Casa Minha vida, cujo padrão abrange as unidades residenciais contempladas no estudo, bem como levantar a normalização envolvida nas medições de ruídos aéreos, foco do presente trabalho.

2.1 Fundamentos de acústica

Na sequência serão apresentados alguns conteúdos importantes relacionados à acústica para embasamento e entendimento dos fenômenos de propagação do som.

2.1.1 Som e ruído

Para Silva (2005), existem dois conceitos importantes para a palavra som. Um deles é o som vibração, ou perturbação física, que percorre um meio qualquer de propagação, permanecendo visível à visão quando ocorre a vibração de um objeto, ou pelo tato, ao tocar a mão em objeto em ressonância e desaparece devido à ausência do meio de propagação. O outro é o som como sensação sonora, que depende do meio elástico de propagação e do ouvido, sem o qual deixa de ser percebido, mesmo que exista sob forma de vibração.

Segundo Bistafa (2006), o som é a sensação produzida no sistema auditivo e pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectável pelo mesmo. De acordo com Costa (2003), o som é o resultado das vibrações mais ou menos rápidas dos corpos elásticos, quando essas vibrações se verificam em determinados limites de frequências.

A onda sonora apresenta várias qualidades que servem para caracterizá-la completamente, como a altura, o timbre e a intensidade.

A altura está relacionada com a sequência das vibrações sonoras, ou seja, com a frequência do som. Já o timbre está ligado à composição harmônica da onda, permitindo identificar a procedência do som. E a intensidade do som diz respeito à amplitude da onda sonora, caracterizando a variação de pressão do meio em que se verifica a sua propagação, e sendo medida por meio da potência sonora (COSTA, 2003).

Carvalho (2006), diz que o som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, passível de ser detectada pelo ouvido humano.

Já o ruído é um som sem harmonia, em geral de conotação negativa. Sons são vibrações das moléculas do ar que se propagam a partir de estruturas vibrantes; mas nem toda estrutura que vibra gera som (BISTAFA, 2006).

2.1.1.1 Frequência

De acordo com Carvalho (2006), ao ser exercida uma pressão em um meio elástico, ocorrem oscilações cíclicas de pressão/depressão, em intervalos de tempo (período) maiores ou menores. A frequência seria então, o número de oscilações (ou ciclos) por unidades de tempo.

Bistafa (2006) diz que a frequência indica o número de períodos existentes em um segundo e ressalta que em acústica é usual que se trabalhe com o inverso do período, que recebe o nome de frequência (f), portanto definida como Equação 1:

$$f = \frac{1}{T}, \text{ dada em Hertz (Hz)} \quad (1)$$

onde:

T =período, em segundos (s)

A unidade de frequência é dada em ciclos por segundo, ou hertz (Hz), em homenagem a Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894).

2.1.1.2 Período

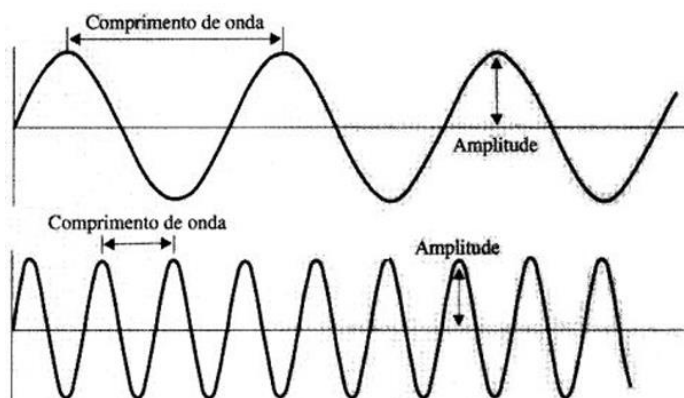
Bistafa (2006) define período (T), como sendo o intervalo de tempo decorrido para que um ciclo se complete na curva de variação da pressão ambiente com o tempo.

Quando a variação da pressão ambiente for cíclica, com período " T " compreendido entre T_1 e T_2 , e quando a amplitude (A) for maior que o limiar da audibilidade, o sistema auditivo detectará som.

2.1.1.3 Amplitude

A amplitude representa a diferença entre os valores máximo e médio de pressão ao longo do tempo em um determinado ponto do espaço como pode ser visto na Figura 1 ou, também, ao longo do espaço na direção de propagação da onda, em um determinado instante de tempo. Quando a pressão varia do seu valor máximo ao mínimo retornando novamente ao máximo, diz-se que ela efetuou uma oscilação completa ou um ciclo (FONÉTICA E FONOLOGIA, 20--).

Figura 1 – Amplitude e comprimento de onda



Fonte: adaptado pela autora de Fonética e fonologia (20--).

2.1.2 O decibel

De acordo com Bistafa (2006) a 1000Hz a intensidade acústica capaz de causar a sensação de dor é de 1012 vezes a intensidade acústica causada na sensação de audição. Devido à dificuldade de se expressar em números de ordens de grandeza tão diferentes numa mesma escala linear, é usada a escala logarítmica. O valor adequado para divisão desta escala seria \log_{10} , sendo que a razão das intensidades do exemplo acima seria representada por $\log 1014$, ou 14 divisões de escala. O nível de intensidade acústica "NI" o é dado pela Equação 2:

$$NI = 10 \log(I/I_0) \quad (2)$$

onde:

I é a intensidade acústica em Watt/m²

I_0 é a intensidade de referência = 10^{-12} Watt/m²

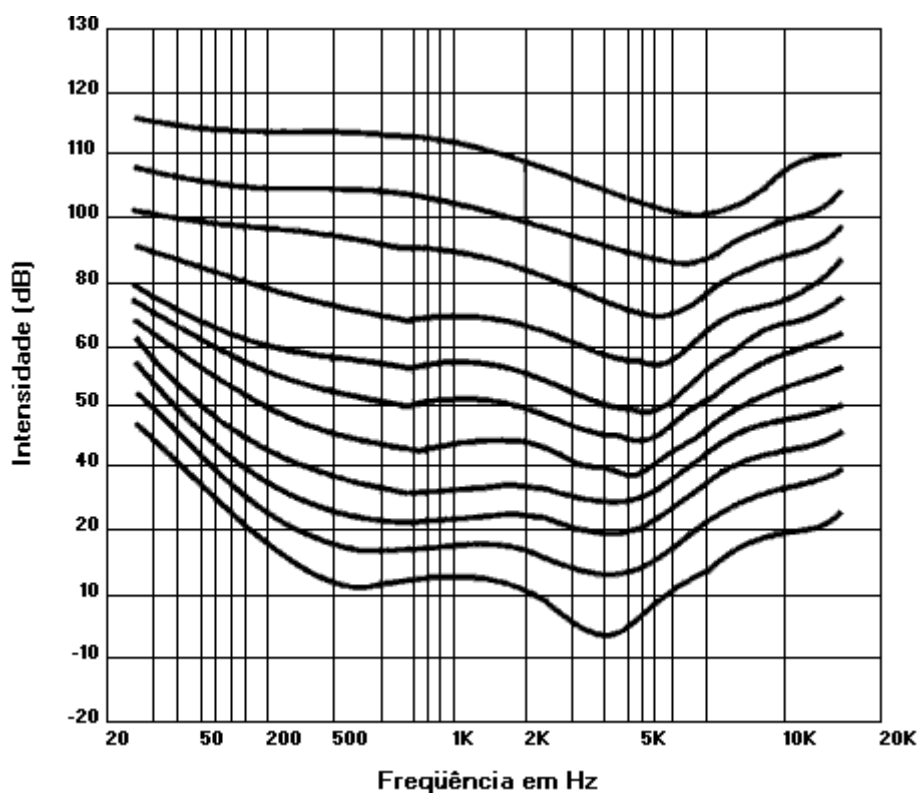
I_0 corresponde, aproximadamente, a intensidade de um tom de 1000 Hz que é levemente audível pelo ouvido humano normal (valor de referência).

2.1.3 Percepção do som

Segundo Carvalho (2006), o ouvido humano não percebe sons de frequências diferentes da mesma forma. Uma gama de faixas de frequências que pode oscilar entre 20Hz e 20000Hz de pessoa para pessoa pode ser percebida ao longo da membrana basilar. A percepção tem como região média a frequência em 1000Hz.

Partindo de resultados de experiências sobre a sensibilidade do ouvido humano à pressão sonora, foram construídas por Fletcher e Munson curvas de variação dessa sensibilidade em decorrência dos sons, as chamadas curvas isofônicas, como podem ser observadas na Figura 2 (CARVALHO, 2006).

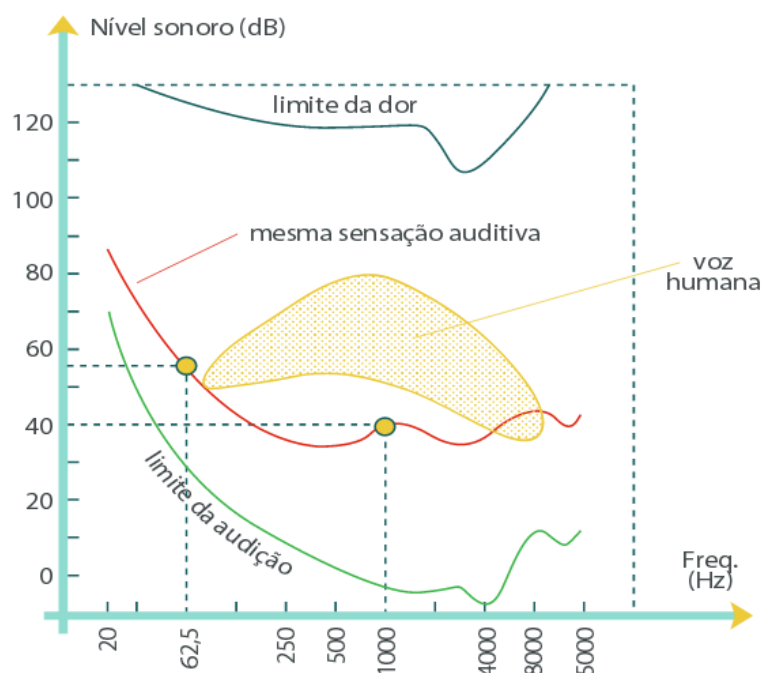
Figura 2 – Curvas isofônicas



Fonte: Terrotório da Música (2003).

De acordo com a CBIC (2013), a percepção do som pelo ouvido humano é influenciada pelo ruído de fundo e ainda pelas variadas frequências. Além disso, o ouvido humano tem maior sensibilidade para perceber sons entre 1000 Hz e 4000 Hz, como pode ser observado na Figura 3. Sendo assim foi criada a escala de ponderação em “A”, a fim de equalizar as intensidades sonoras reais do ouvido humano (CBIC, 2013).

Figura 3 – Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano



Fonte: IPT apud CBIC (2013).

2.1.4 Escalas de ponderação: o db (A)

De acordo com Carvalho (2006), é difícil obter um valor objetivo que se aproxime ao máximo possível da percepção do ouvido humano variando de pessoa para pessoa, e para definir num só valor o nível de pressão acústica é empregado universalmente o sistema dB(A) - Decibel.

Aceito internacionalmente como o valor que mais se aproxima da sensação de audibilidade humana, a aferição em dB(A) é importante, por exemplo, na falta de equipamento apropriado que meça sons/ruídos de acordo com a gama total de frequências em que estes ocorrem em comparação do que o ouvido humano percebe efetivamente. Desta maneira acrescentam-se ou diminuem-se os coeficientes sugeridos pela curva de ponderação “A”, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Correções para ponderação em “A”

Correções das sensações auditivas na escala “A”	
Frequência Hz	Escala A dB(A)
10	-70,4
25	-44,7
50	-30,2
100	-19,1
200	-10,9
400	-4,8
600	-1,8
800	-0,8
1000	0
2000	+1,2
3000	+1,2
4000	+1
5000	+0,5
10000	-2,5
20000	-9,3

Fonte: adaptado pela autora de Costa (2003).

2.1.5 Tempo de reverberação

Segundo Carvalho (2006), a reverberação consiste no prolongamento necessário de um som produzido, a título de sua inteligibilidade em locais mais afastados da fonte produtora ocorrendo, basicamente, em recintos fechados, sendo que esse prolongamento deve ser maior quanto maior for a distância entre a fonte e a recepção, ou quanto maior for o volume interno do recinto.

De acordo com Santos (2005), o tempo de reverberação quantifica a absorção acústica dos ambientes e é definido como o tempo necessário para a energia sonora decair um milhão de vezes (10^6) em relação à energia inicial, ou seja, é o tempo que leva para que o nível de pressão sonora diminua em 60 dB e para que as ondas sonoras deixem de ser percebidas.

A reverberação é um fenômeno ocorrido em ambientes fechados, tendo importância na avaliação da sonoridade de salas de aula, auditórios, teatros, salas de concerto, etc. (SANTOS, 2005).

A Equação de Sabine traduz o tempo de reverberação (EQUAÇÃO 3):

$$Tr = \frac{(0,16V)}{A} \quad \text{sendo} \quad A = \sum S \alpha s \quad (3)$$

Onde:

Tr = tempo de reverberação (s);

V = volume da sala (m^3);

A = área de absorção equivalente (m^2);

S = área das superfícies que compõem o ambiente (m^2);

αs = coeficiente de absorção acústica Sabine.

2.2 Propagação do ruído

Segundo Costa (2003), o som se propaga por meio de impulsos ocasionados ao meio, em torno do corpo sonoro, provocando deformações transitórias que se movimentam longitudinalmente, de acordo com a onda de pressão criada.

O meio natural de propagação do som que permite que este chegue ao ouvido, é o ar. Se não houver gás preenchendo o ar envolto, os sons deixam de ser ouvidos (SILVA, 2005).

De acordo com Gerges (2000), o som se propaga em forma de ondas esféricas a partir de uma fonte pontual. Duas situações dificultam este modelo simples: a presença de obstáculos na trajetória de propagação e a não uniformidade do meio, causada por ventos e/ou gradientes de temperaturas em campo aberto.

Vibrações de superfície de sólidos produzem excitações no ar e desta forma o som é gerado. Qualquer processo que provoque flutuações no ar pode gerar ondas sonoras. Uma superfície vibrante terá que ter dimensões bem maiores do que o

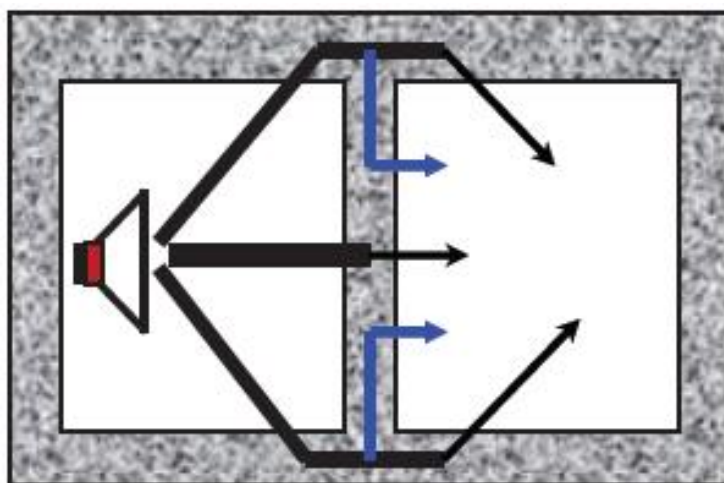
comprimento de onda para ter uma boa eficiência de radiação acústica (GERGES, 2000).

Segundo Souza, apud Rocha (2004), pode se considerar a propagação sonora como sendo a diferença de pressão sonora e essa propagação pode ocorrer em campo livre, onde não existem obstáculos, ou em campo difuso, tomando como exemplo, ambientes fechados.

De acordo com Carvalho (2006), o ruído aéreo, como o nome já define, representa o ruído transmitido através do ar. Como exemplos têm-se vozes, buzinas, etc.

Segundo Gerges (2000), a onda sonora perde energia durante sua propagação. Na Figura 4 é possível observar o esquema de transmissão de ruído aéreo entre vedação vertical (parede) de isolamento entre recintos, com perda de energia.

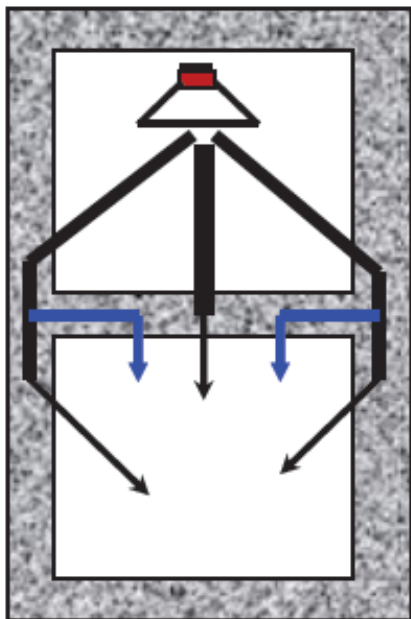
Figura 4 – Propagação de ruído aéreo através da parede



Fonte: adaptado pela autora de Proacústica (2013).

Na Figura 5 é possível observar o esquema de transmissão de ruído aéreo entre vedação horizontal (piso) de isolamento de diferentes pavimentos.

Figura 5 – Propagação de ruído aéreo através do piso



Fonte: adaptado pela autora de Proacústica (2013).

Conforme a CBIC (2013), a onda sonora propagada no ar pressiona o tímpano das pessoas de forma que os ruídos sensibilizam o ouvido humano numa escala logarítmica na qual o limiar de audição humana responde à pressão de 2×10^{-5} Pa, ou 0,000002 kgf/m². Essas grandezas não são muito representativas para as pessoas. A partir da pressão de referência, foi então criado o sistema Bel, e a partir dele, o Decibel (1 Decibel = 10 Bel's), que por meio da quantificação de sons por numerais inteiros como 20, 60, 80, por exemplo, é possível demonstrar melhor como uma grandeza é superior a outra. No Quadro 1 podem ser observados alguns valores de pressão sonora em correspondência a atividade propagadora do ruído.

Quadro 1 – Correspondência aproximada da propagação sonora

Nível de desempenho		Correspondência aproximada
Pa	dB (A)	
20	120	Marteleto pneumático, turbina de avião
2	100	Veículos com escapamento aberto (motos, autos)
0,2	80	Avenidas com trânsito intenso, gritos de pessoas
0,02	60	Rádio em volume normal, rua com pequeno trânsito de veículos
0,0002	20	Limite para o repouso tranquilo
0,00002	0	Limite de audição para jovens, frequência 1.000 a 4.000Hz

Fonte: CBIC, 2013.

2.3 Absorção do ruído

Costa (2003, p. 32) diz: “Quando uma onda sonora incide sobre uma superfície sólida, parte da energia sonora é absorvida devido ao atrito e viscosidade do ar, transformando-se em calor”.

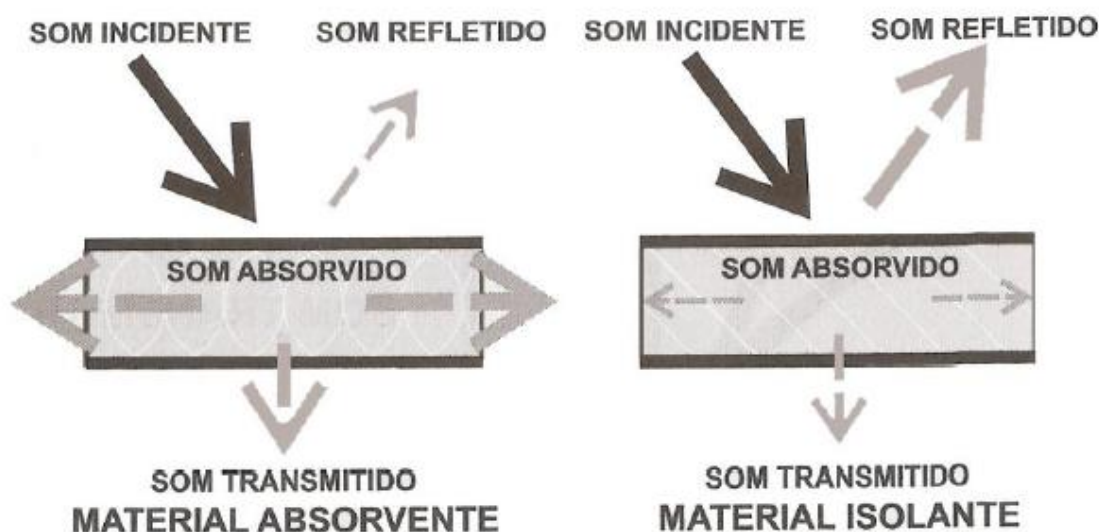
Para ele, essa quantidade de energia absorvida representa o coeficiente de absorção e depende principalmente da natureza do material.

Segundo Carvalho (2006), ao incidir sobre um obstáculo, a onda sonora propicia três situações: uma parte da onda é transmitida através do material, outra parte é absorvida pelo obstáculo e o restante é refletido.

Ao reter grande quantidade de ondas sonoras transformando-as em energia térmica, diz-se que o material apresenta boa absorção acústica, ou seja, se trata de um material absorvente, e ao refletir grande parte da energia sonora, diz-se que o material se trata de um bom isolante acústico (CARVALHO, 2006).

Na Figura 6 é possível observar o comportamento de um material absorvente e um material isolante, sob a incidência de um som.

Figura 6 – Comportamento de material absorvente e isolante sob incidência do som



Fonte: adaptado pela autora de Carvalho (2006).

2.4 Isolamento de ruídos

Segundo Carvalho (2006), isolar acusticamente um recinto trata-se de impedir a entrada dos ruídos externos no mesmo, de forma a alcançar patamares em conformidade com a atividade a ser exercida no seu interior. Porém, de acordo com Gerges (2000), o isolamento do ruído decorrente da presença de paredes, divisórias ou partições, não é a única maneira de diminuir a transmissão sonora entre ambientes.

Além dessas formas de atenuação, a propagação sonora também ocorre através do ar ou através da estrutura (GERGES, 2000).

2.5 O Programa Minha Casa Minha Vida

O Programa Minha Casa Minha Vida, criado pelo Governo Federal em parceria com os estados e municípios, gerido pelo Ministério das Cidades e operacionalizado pela Caixa Econômica Federal foi criado para suprir o novo contexto da necessidade de habitação e qualidade de vida nas áreas urbanas (Ministério das Cidades, 2012).

Lançado em março de 2009, o programa de financiamento habitacional prevê a construção de um milhão de residências com a concessão de subsídios, cujos valores estimados somam cerca de R\$ 34 bilhões (BNDS, 2010).

O programa compreende:

- Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU);
- Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR);
- Transferência de recursos ao Fundo de Arrendamento Residencial (FAR) e ao Fundo de Desenvolvimento Social (FDS);
- Subvenção econômica aos municípios de pequeno porte;
- Participação da União no Fundo Garantidor da Habitação Popular (FGHab);

e

- Subvenção econômica ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

O PMCMV compatibiliza a prestação da casa própria com a capacidade de pagamento da família. Dessa forma, diferencia-se em três grupos que variam conforme a renda da família, que pode ser até 10 salários mínimos, como pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2 – Distribuição de subsídios do PMCMV segundo as três faixas de renda

Distribuição de subsídios do PMCMV segundo as três faixas de renda	
Até 3 salários mínimos	Subsídio integral com isenção de seguro
De 3 a 6 salários mínimos	Aumento do subsídio parcial em financiamentos
De 6 a 10 salários mínimos	Estímulo à compra com redução dos custos do seguro e acesso ao Fundo Garantidor

Fonte: adaptado pela autora PMCMV apud BNDS (201-).

De acordo com a Cartilha do Programa Minha Casa Minha Vida, o mesmo contempla uma modalidade de residência cuja área interna útil mínima é de 36,00 m² (não computadas paredes e área de serviço), englobando compartimentos: sala, cozinha, banheiro, circulação, 2 dormitórios e área de serviço (CEF, 200-).

A implementação do PMCMV e a expansão da atuação de bancos públicos duplicaram o crédito habitacional em 2009, segundo a CEF (2011). O crescimento do volume de crédito habitacional teria ficado em 30%.

2.6 Normatização

Relativo à obrigação de cumprimento de normas técnicas vigentes para garantia de fornecimento de produto final de qualidade ao consumidor aplicam-se legislações como a nº 8078/90 que traz no seu item VIII do artigo 39 do Código de Defesa do Consumidor o seguinte:

É vedado ao fornecedor de produtos ou serviços, dentre outras práticas abusivas, colocar no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (BRASIL, 1990).

Além disso, no Código Civil está bem claro que o comprador tem poder de rejeitar a obra ou exigir dedução no preço caso o empreiteiro tenha se afastado das normas técnicas no que expressam os artigos 615 e 616. 615:

Art. 615. Concluída a obra de acordo com o ajuste, ou o costume do lugar, o dono é obrigado a recebê-la. Poderá, porém, rejeitá-la, se o empreiteiro se afastou das instruções recebidas e dos planos dados, ou das regras técnicas em trabalhos de tal natureza (BRASIL, 2002).

Art. 616. No caso da segunda parte do artigo antecedente, pode quem encomendou a obra, em vez de enjeitá-la, recebê-la com abatimento no preço (BRASIL, 2002).

A indústria da construção brasileira vem revolucionando positivamente seus parâmetros de qualidade quanto aos requisitos mínimos de segurança para habitações residenciais resultando na criação da nova norma técnica brasileira, a Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais, NBR 15.575, em vigor desde julho de 2013 (CBIC, 2013).

2.6.1 Norma de desempenho na construção civil, NBR 15.575

Segundo Paulo Campos, professor de Arquitetura da Universidade de São Paulo (USP) e superintendente do Comitê Brasileiro da Construção Civil da ABNT o Brasil estaria passando a enxergar o edifício de uma forma sistêmica, olhando para o todo, e não só para as partes. Para ele, a edição da NBR 15.575 representa uma mudança ocorrendo dentro de um processo de expansão do mercado imobiliário do Brasil, pois se trata de um nível de consenso nunca antes visto, entre o estado da arte da construção civil e as condições objetivas de realidade socioeconômica brasileira (CBIC, 2013).

A NBR 15.575 impõe exigências de conforto e segurança em imóveis residenciais e associa a qualidade de produtos ao resultado que eles conferem ao consumidor, com instruções claras e transparentes de como fazer essa avaliação, privilegiando benefícios ao consumidor e dividindo responsabilidades entre fabricantes, projetistas, construtores e usuários (ABNT, 2013).

Dentre as incumbências direcionadas aos projetistas advindas da NBR 15.575-1 e constantes no item 5 da mesma, cabe a esse profissional especificar materiais,

produtos e processos que atendam o desempenho mínimo da norma considerando o desempenho previsto pelo fabricante dos produtos a serem utilizados no projeto.

No caso de os produtos não apresentarem dados que caracterizem seu desempenho, na inexistência de normas específicas, ou quando o fabricante não demonstrar o desempenho de seu produto, o projetista tem o dever de solicitar informações ao mesmo para determinar as decisões de especificação.

O engenheiro acústico Juan Frias Pierrard, consultor técnico da ProAcústica e sócio diretor da Bracústica Consultoria, em entrevista ao ProAcústica News ressaltou que apesar de os níveis mínimos exigidos na NBR 15.575 não serem os mais adequados para garantir o conforto, após um ano em vigor já representa um grande avanço em relação à situação anterior, no que leva as empresas a estarem cientes das exigências e a realizar ensaios acústicos para validar as soluções de melhor desempenho acústico em seus empreendimentos (PROACÚSTICA, 2013).

2.6.1.1 Vida útil (VU) e vida útil de projeto (VUP)

De acordo com a CBIC (2013), a vida útil (VU) representa o período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas realizam as atividades para as quais foram projetados e construídos levando em conta a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção conforme o seu respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção não podendo ser confundida com prazo de garantia legal e certificada.

Tem-se como fatores de interferência na vida útil: as características dos materiais, qualidade da construção, o correto uso e operação da edificação e de suas partes, a constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local da obra, mudanças como trânsito de veículos, obras de infraestrutura e expansão urbana no entorno da obra ao longo do tempo (CBIC, 2013).

Já a Vida Útil de Projeto (VUP) se trata de uma estimativa teórica de tempo que compõe o tempo de vida útil e pode não representar o tempo de vida útil real, em função da eficiência e registro das manutenções, de alterações no entorno da obra,

fatores climáticos, entre outros. No Quadro 3 podem ser visualizados os tempos de vida útil de projeto estabelecidos pela Norma de Desempenho, NBR 15.575.

Quadro 3 – Critério de Vida Útil de Projeto (VUP)

Sistema	VUP mínima (anos)
Estrutura	≥ 50
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Fonte: NBR 15575-1 (2013).

2.6.1.2 Fragmentação da norma

A norma em questão diz que, cada um dos sistemas que compõem um imóvel, como estrutura, pisos, vedações, coberturas e instalações, devem proporcionar níveis de segurança, conforto e resistência ao mesmo. Para facilitar o entendimento dessas questões a NBR foi subdivida em 6 volumes:

- 15.575-1: Requisitos gerais;
- 15.575-2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- 15.575-3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- 15.575-4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- 15.575-5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- 15.575-6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

O primeiro volume da Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais, NBR15.575-1, é constituído dos critérios que devem ser atendidos individual e isoladamente.

As exigências do usuário exprimem um conjunto de necessidades que a edificação habitacional deve satisfazer a fim de cumprir sua função descrita.

Para que sejam atendidas essas exigências é necessário que se atendam aos requisitos e critérios constante nos itens 4.2 a 4.4 da referida norma.

No item 4.2 da NBR 15.575-1 estão presentes as exigências do usuário quanto à segurança (ABNT, 2013):

- segurança estrutural;
- segurança contra o fogo;
- segurança no uso e na operação.

No item 4.4 da NBR 15.575-1 estão presentes as exigências do usuário relativas à sustentabilidade que seriam: durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental (ABNT, 2013).

2.6.2 Norma de Desempenho Acústico no Brasil

No item 4.3 da NBR 15.575-1 estão presentes as exigências do usuário quanto à habitabilidade (ABNT, 2013) e dentre essas exigências está o foco do presente trabalho que corresponde ao desempenho acústico.

Os níveis de desempenho previstos na NBR 15.575 foram definidos pelos níveis admissíveis para conforto acústico constantes na NBR 10152 de 1987. Regularam-se assim os níveis de desempenho acústico de paredes externas, esquadrias de dormitórios, paredes internas de geminação, paredes de separação de unidades e áreas comuns, conjunto de paredes e portas que separam duas unidades, e dos sistemas de pisos relacionados ao ruído aéreo e de impacto. A norma em questão também fornece parâmetros não obrigatórios para ruídos de equipamentos (PROACÚSTICA, 2013).

Segundo a ProAcústica (2013), quaisquer desses sistemas utilizados (paredes, pisos, portas, etc.) está sujeito a demonstração para que sejam reunidas evidências

do efetivo atendimento dos níveis mínimos dispostos na NBR 15.575, e para essa verificação são obtidos parâmetros através de dois métodos de medição, engenharia ou de controle, para medição dos níveis sonoros em campo de forma rigorosa ou para obter uma estimativa em situações de falta de equipamento, respectivamente, baseados em normas internacionais, como pode ser visto no Quadro 4:

Quadro 4 – NBR 15.575 - parâmetros, métodos e normas de medição de ruídos

Tipo de ruído	Descrição	Parâmetro	Método	Norma
Ruído Aéreo	Isolamento acústico a ruído aéreo entre recintos			
	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	$D_{nT,w}$	Engenharia	ISO 140-4
				ISO 717-1
			Controle	ISO 10052
				ISO 717-1
	Isolamento acústico a ruído aéreo de fachadas			
	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2m de distância da fachada	$D_{2m,nT,w}$	Engenharia	ISO 140-5
				ISO 717-1
			Controle	ISO 10052
				ISO 717-1
Ruído de Impacto	Isolamento acústico a ruído de impacto			
	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado	L'_{nTw}	Engenharia	ISO 140-7
				ISO 717-2
			Controle	ISO 10052
				717-2
	Ruído de instalações e equipamentos prediais			
	Níveis de pressão sonora padronizados	$L_{Aeq,nT}$	Engenharia	ISO 16038
		$L_{Asmax,nT}$	Controle	ISO 10052

Fonte: adaptado pela autora de ProAcústica (2013).

2.6.3 Normatização internacional para medição de ruídos aéreos

A ISO (International Organization for Standardization) é uma federação mundial de normas que colabora com a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) em todos os assuntos de normalização eletrotécnica (ISO, 2013).

2.6.3.1 ISO 140 parte 4

Segundo Michalski (2011), a norma internacional ISO 140-4 (Acústica - Medição do isolamento em edifícios e dos elementos de construção - parte 4: Medições de campo de isolamento sonoro aéreo entre salas), especifica o método de medição em campo, em função da frequência, de parâmetros de isolamento sonoro aéreo de pisos, paredes e portas internas entre dois cômodos sob condições de campo sonoro difuso em ambos os cômodos.

Os resultados obtidos dessas medições podem ser usados para comparar o isolamento sonoro de vedações verticais obtido na edificação em questão com os níveis de desempenho estabelecidos na norma brasileira de desempenho de edificações (MICHALSKI, 2011).

2.6.3.2 ISO 140 parte 5

De acordo com Michalski (2011) a norma ISO 140-5 (Acústica - Medição do isolamento em edifícios e dos elementos de construção - parte 5: medições de campo de isolamento ao ruído aéreo de elementos de fachada e fachadas), que trata do isolamento sonoro aéreo de elementos de fachadas e de fachadas completas, especifica dois métodos de medições em campo para obter os parâmetros de isolamento sonoro aéreo.

Esses métodos são chamados de métodos de elemento e métodos globais sendo que o primeiro método tem o objetivo de estimar o índice de redução sonora de um elemento de fachada, (uma janela ou uma porta, por exemplo), enquanto que o

segundo método, considerado mais exato de acordo com a própria norma, estima a diferença de nível sonoro de fora para dentro sob condições de tráfego.

2.6.3.3 ISO 717-1

A norma ISO 717 de 1996 visa padronizar procedimentos que convertam os valores de isolamento sonoro, dependentes da frequência, para valores únicos ou índices ponderados a fim de simplificar o estabelecimento de requisitos ou níveis de desempenho acústico em normas ou códigos de edificações (MICHALSKI, 2011).

A primeira parte da ISO 717, ou seja, a ISO 717-1 (Acústica - Avaliação do isolamento dos edifícios e dos elementos de construção, parte 1: Isolamento de ruídos aéreos), além de especificar o método de comparação, compara os valores obtidos em conformidade com a norma ISO 140-4 e ISO 140-5 com os valores de referência em frequências de medição dentro da faixa de 100 Hz a 3.150Hz para as bandas de um terço de oitava e 125 Hz e 2000 Hz para as bandas de oitava (ISO, 2013).

2.6.3.4 ISO 16.283-1

A primeira edição da ISO 16.283-1 (Acústica - Medição do isolamento em edifícios e dos elementos de construção), de 2013, anula e substitui a ISO 140-4 de 1998, a ISO 140-5 de 1998, ISO 140-7 de 1998 e a ISO 140-14 de 2004, que foram tecnicamente revisadas.

A ISO 16283 sob o título geral Acústica - Medição de campo de som isolamento em edifícios e dos elementos de construção está subdividida em:

- Parte 1: Isolamento acústico de ruído aéreo
- Parte 2: Isolamento acústico de ruído de impacto
- Parte 3: Isolamento acústico de fachada

Anteriormente, as ISO 140-4, ISO 140-5 e ISO 140-7 se destinavam principalmente às medições, onde o campo de som pudesse ser considerado difuso e

não especificavam se os operadores estavam presentes ou não nos recintos durante a medição, já a ISO 16.283 difere justamente nisso, no que se aplica às salas nas quais o campo de som pode ou não aproximar-se de um campo difuso, e no que esclarece como o operador irá medir o campo de som, se irá usar um microfone de mão ou um medidor de nível de som e ainda inclui orientações adicionais que era anteriormente contida na ISO 140-14.

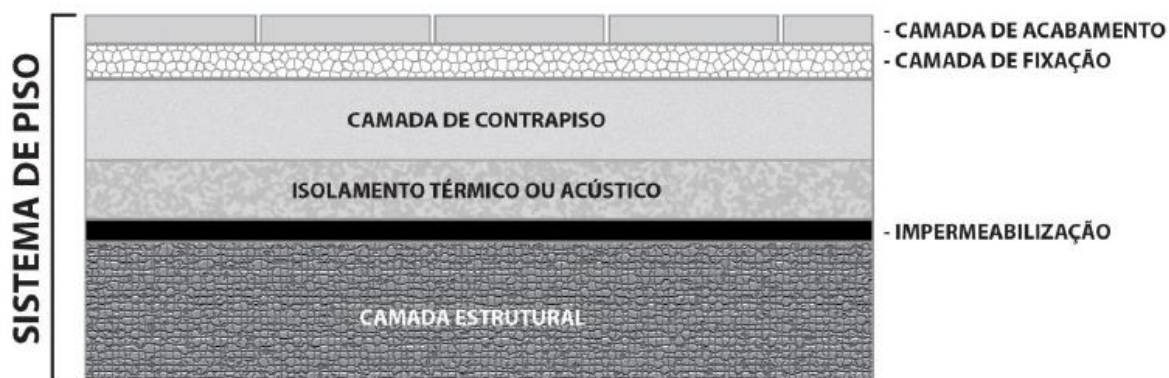
2.6.4 Sistema de pisos

As unidades habitacionais autônomas são separadas em diferentes pavimentos através do sistema de pisos. Esse sistema precisa garantir um desempenho adequado de isolamento acústico aéreo (conversações, TV, música, etc.) e de impacto (passos, queda de objetos, arrastar de móveis, etc.) (PROACUSTICA, 2013).

Dentro dos sistemas de pisos e sabendo da necessidade de isolamento acústico, têm-se apoio no disposto na Norma de Despenho NBR 15.575-3 (ABNT, 2013).

O sistema de piso é sempre composto por laje e opcionalmente por contrapiso. Na Figura 7 pode ser visualizado um exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos.

Figura 7 – Exemplo genérico de um sistema de piso e seus elementos



Fonte: NBR 15575-3 (ABNT, 2013).

Segundo a Associação Brasileira para a Qualidade Acústica, ProAcústica (2013), a laje é composta de diversas morfologias. Pode ser pré-moldada com a utilização de concreto, EPS, cerâmica, entre outros, como também, pode ser em concreto armado, moldada no local da obra. Suas propriedades de densidade, espessura, dimensões e características estruturais de contorno irão definir o desempenho quanto ao isolamento ao ruído aéreo ($D_{nT,w}$) e de impacto ($L'_{nT,w}$).

O contrapiso pode ser do tipo normal, composto de argamassa e areia, como pode ser do tipo flutuante, interpondo um material resiliente entre a laje e o contrapiso, o que proporciona índices muito bons, como Intermediário e Superior, ao isolamento aéreo e de impacto (PROACÚSTICA, 2013).

Na Tabela 2 são relacionadas algumas recomendações referentes a outros níveis de desempenho da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, complementando o valor normalizado pelo disposto no item 12.3 da NBR 15.575.-3.

Tabela 2 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥50	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S

Fonte: NBR15575-3 (ABNT, 2013).

O isolamento ao ruído aéreo medido em campo é expresso pelo índice $D_{nT,w}$, enquanto que o isolamento ao ruído aéreo medido em laboratório é representado

índice R_w . Em vista das condições estruturais e executivas ao se medir serem variadas, costumam apresentar valores diferentes.

De acordo com a Proacústica (2013), a transmissão de ruído entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação ocorre através do próprio sistema de piso (via de transmissão direta) e os elementos laterais ou paredes (vias de transmissão indireta). Quem determina essas transmissões são as soluções construtivas, as uniões entre elas e a geometria dos recintos. Por isso, o desempenho de isolamento ao ruído aéreo entre dois ambientes separados por um sistema de pisos de um edifício ($D_{nT,w}$), tende a ser inferior ao desempenho do mesmo sistema de piso ensaiado em laboratório (R_w).

As normas europeias EN 12354-1 e EN 12354-2 apresentam os procedimentos que possibilitam estimar o desempenho de isolamento acústico ao ruído aéreo em edificações a partir das propriedades dos diferentes elementos e sistemas construtivos envolvidos, suas uniões e geometrias, avaliando as diferentes vias de transmissão (PROACUSTICA, 2013).

Segundo a Proacústica (2013), a norma de desempenho permite a realização das medições por dois métodos, com procedimentos diferentes: engenharia e controle. A precisão do método de controle é inferior, com maiores incertezas nos resultados que podem conflitar na hora de avaliar o atendimento à norma. Por isso, se recomenda a realização das medições pelo método de engenharia.

Método de engenharia, realizado em campo: na NBR 15.575-3 estão descritos os métodos de medição. De acordo com disposto na mesma, o método de engenharia, realizado em campo para verificação do isolamento de ruído aéreo de sistema de piso determina que “[...] em campo, de forma rigorosa, o isolamento sonoro de ruído aéreo entre unidades autônomas e entre uma unidade e áreas comuns, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema” (ABNT, 2013, p. 20).

E ressalta que: “o método é descrito na norma ISO 140-4” (ABNT, 2013, p. 20).

Método simplificado de campo: de acordo com a NBR 15.575, o método simplificado realizado em campo permite:

[...] obter uma estimativa do isolamento sonoro de ruído aéreo e o nível de pressão sonora de impacto padrão em sistema de piso, em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído ambiente não permitem obter este parâmetro (ABNT, 2013, p.20).

E ressalta, “O método simplificado é descrito na ISO 10052” (ABNT, 2013, p.20).

Segundo a NBR 15.575, entre os métodos de medição de campo, o método de engenharia é o mais preciso ABNT (2013).

A metodologia para avaliar o atendimento dos limites de desempenho de isolamento ao ruído aéreo consiste em medições acústicas conforme procedimentos padronizados especificados em normas internacionais.

As normas ISO 140-4 e ISO 10052 especificam a metodologia de medição. A mesma está baseada na emissão de ruído em um dos recintos através de uma fonte sonora omnidirecional, e medição dos níveis de pressão sonora em bandas de frequência neste recinto (emissor) e no recinto próximo (receptor).

Segundo a Proacústica (2013), a diferença entre esses níveis, com uma correção segundo as condições acústicas do recinto receptor, resultam na Diferença de níveis padronizada (D_{nT}), que é convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo a Diferença padronizada ponderada ($D_{nT,w}$) que é o valor comparável com os níveis de desempenho da NBR 15575-3.

- Como requisito deve ser avaliado o isolamento de som aéreo de ruídos de uso normal (fala, TV, conversas, música) e uso eventual (áreas comuns, áreas de uso coletivo).

- Ao medir devem ser avaliados os dormitórios da unidade habitacional, sendo necessária a utilização de um dos métodos na norma para a determinação dos valores da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$.

- As medições devem ser realizadas com portas e janelas dos ambientes fechadas, tais como foram entregues pela empresa construtora ou incorporadora.

- O sistema de piso deve apresentar desempenho mínimo de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, de acordo com a Tabela 2.

2.6.5 Sistema de vedações verticais internas - paredes

Os requisitos de desempenho acústico para sistemas de vedações verticais internas estão descritos na Norma de Despenho NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

Segunda a Proacústica (2013), as paredes que separam diferentes unidades habitacionais autônomas constituem os sistemas de vedação vertical interna e devem garantir nas edificações um desempenho adequado de isolamento acústico ao ruído aéreo (conversações, TV, música, etc.).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013), ao estabelecer o nível de desempenho da NBR 15.575, este deve ser compatível com a proteção da privacidade contra a intrusão de ruído de atividades nos ambientes adjacentes, tais como a fala, música etc.

Além disso, diversos exemplos de cálculo e estimativa do grau de inteligibilidade podem ser encontrados na literatura técnica acústica. Na Tabela 3 tem-se uma estimativa simplificada do grau de inteligibilidade da fala em um recinto adjacente em função do isolamento acústico e do nível de ruído no ambiente.

Tabela 3 – Influência da $D_{nT,w}$ sobre a inteligibilidade da fala, para ruído no ambiente

Inteligibilidade de fala alta no recinto adjacente	Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$, (dB)
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	≥50

Fonte: adaptado pela autora de Association of Australian Acoustical Consultants apud NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Os sistemas de vedações verticais internas são compostos pelos elementos base e opcional:

Elemento base:

- Parede: Diversas morfologias:

- Massivos: Alvenaria (bloco de concreto, cerâmico ou de gesso), concreto pré-moldado ou moldado “*in loco*”. Seu desempenho quanto ao isolamento ao ruído aéreo ($D_{nT,w}$) decorre fundamentalmente da sua densidade superficial para paredes simples.

- Leves: Sistemas *drywal*. Seu desempenho quanto ao isolamento ao ruído aéreo depende de sua composição (número de placas, perfis, banda acústica perimétrica), espessura da cavidade e presença de material absorvente na cavidade.

Elementos opcionais:

- Revestimentos: De gesso, argamassa ou cerâmicos aplicados sobre as paredes.

Como requisitos a NBR 15575-4 estabelece os limites mínimos de isolamento acústico ao ruído aéreo. Bem como, define níveis de desempenho informativos, Intermediário (I) e Superior (S) que proporcionam um maior conforto.

Os requisitos de desempenho acústico para sistemas de vedações verticais internas estão descritos na Norma de Despenho NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) e podem ser vistos na Tabela 4.

O índice $D_{nT,w}$ representa o isolamento aos ruídos aéreos medidos no campo (obra), assim como o índice R_w medido em laboratório do mesmo sistema, apresentando, geralmente, valores diferentes decorrentes das condições estruturais e executivas.

Tabela 4 – Valores mínimos, intermediário e superior de $D_{nT,w}$, entre ambientes

Parâmetro		Elemento	Desempenho		
Diferença padronizada de nível ponderada	(D _{nT,w})		Min	Int	Sup
		Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) nas situações onde não haja ambiente	≥40dB	≥45dB	≥50dB
		Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥45dB	≥45dB	≥55dB
		Parede cega de dormitório entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	≥40dB	≥45dB	≥50dB
		Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadarias nos pavimentos	≥30dB	≥35dB	≥40dB
		Parede cega entre unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas. tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥45dB	≥50dB	≥55dB
		Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas por um hall	≥40dB	≥45dB	≥50dB

Fonte: adaptado pela autora de NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Os sistemas construtivos e respectivos desempenhos “aproximados” equivalentes em R_w , cujos valores estão apresentados na Tabela 5, devem ser utilizados com cautela, devido as diferenças que podem ocorrer de desempenho para um mesmo sistema medido em laboratório e no campo.

Tabela 5 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Elemento	R_w (dB)	Nível de desempenho
Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Parede cega de dormitório entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadarias nos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥45	S
Parede cega entre unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas por um hall	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S

Fonte: NBR15575-4 (ABNT, 2013).

Novamente, a NBR 15.575 permite que as medições sejam realizadas pelos dois métodos: engenharia e controle, sendo mais preciso o método de engenharia

Método de precisão: de acordo com a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), o método de precisão, realizado em laboratório para obter o ruído aéreo de sistema de vedações verticais internas determina “[...] a isolação sonora de componentes e elementos construtivos (parede, janela, porta e outros), fornecendo valores de referência de cálculo para projetos”. E ressalta que “o método de ensaio é descrito na norma ISO 10140-2” (ABNT, 2013,p. 28).

Para avaliar um projeto com diversos elementos (parede com janela, parede com porta etc.), é necessário ensaiar cada um e depois calcular o isolamento global do conjunto.

Método de engenharia, realizado em campo: segundo a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), o método de engenharia para obter o ruído aéreo SVVI (paredes internas) determina “[...] em campo, de forma rigorosa, o isolamento sonoro global entre unidades autônomas e entre uma unidade e áreas comuns, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema”. E ressalta que “o método é descrito na norma ISO 140-4” (ABNT, 2013, p.28).

Método simplificado de campo: segundo a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), o método simplificado de campo permite:

[...] obter uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada nos edifícios multipiso), do isolamento sonoro global entre recintos internos, em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter este parâmetro (ABNT, 2013, p.28).

E ressalta que “o método simplificado é descrito na ISO 10052” (ABNT, 2013, p. 28).

2.6.6 Medição de ruído aéreo do sistema de vedações verticais externas

Método de precisão: de acordo com a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), esse método é idêntico ao realizado em laboratório para sistemas de vedações verticais internas.

Método de engenharia, realizado em campo: segundo a NBR 15.575-4, o método de engenharia para obter o ruído aéreo de Sistema de Vedações Verticais Externas (SVVE) determina:

[...] em campo, de forma rigorosa, o isolamento sonoro global da vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada nos edifícios multipiso), caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema (ABNT, 2013, p.28).

E ressalta que “o método é descrito na norma ISO 140-5” (ABNT, 2013, p. 28).

Método simplificado de campo: segundo a NBR 15.575-4, o método simplificado de campo engenharia permite:

[...] obter uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada nos edifícios multipiso), do isolamento sonoro global entre recintos internos, em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter este parâmetro (ABNT, 2013, p. 28).

E ressalta que “o método simplificado é descrito na ISO 10052” (ABNT, 2013, p.28).

O índice $D_{2m,Nt,w}$, ou seja, o isolamento aos ruídos aéreos medidos no campo para vedações externas (fachadas) pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 - Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$, para ensaios de campo

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,Nt,w}$	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de qualquer natureza	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em área sujeita a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: NBR15575-4 (ABNT, 2013).

Os sistemas construtivos e respectivos desempenhos “aproximados” equivalentes em R_w , tem seus valores disponíveis para fachada na Tabela 7.

Tabela 7 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas

Classe de ruído	Localização da habitação	R_w	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de qualquer natureza	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação	≥ 35	M

Fonte: NBR15575-4 (ABNT, 2013).

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo expor os métodos utilizados no estudo de caso abordado no presente trabalho, na intenção de atender aos objetivos propostos.

Primeiramente o estudo teve como foco a contextualização do tema, através da leitura de artigos, livros, normas e manuais acerca do assunto além de curso ministrado por especialista da área a fim de agregar conhecimentos teóricos relacionados a pesquisa. Para elaboração dos procedimentos de medição contou-se com o apoio da Empresa X e com o it Performance, tendo a primeira contribuído na disponibilização das unidades do empreendimento e a segunda no fornecimento dos equipamentos em conformidade com a norma e técnico para realização das medições.

Em seguida teve início a elaboração do procedimento metodológico de medição do isolamento acústico de ruídos aéreos para o sistema construtivo de vedações verticais internas e de fachada, e entre pisos.

Dessa forma serão utilizadas as normas de medição de campo pré-definidas pela NBR 15.575 para efetuar as medições de ruído aéreo entre ambientes da mesma unidade e entre unidades autônomas separadas por vedação vertical e por piso. Além disso, será realizada a medição de ruído aéreo de fachada.

Conhecendo a possibilidade prevista na NBR-15.575 (2013) de se utilizar métodos diversificados de medição, (engenharia e controle), já abordados anteriormente, e levando em conta a consideração onde a mesma faz menção ao método de engenharia como sendo o mais adequado devido às incertezas geradas

pelos resultados para o método de controle, optou-se por utilizar o método de engenharia.

Ao levantar as normas necessárias para realizar as medições pelo método definido, o método de engenharia, é visto que para verificar a diferença padronizada de nível ponderada para isolamento acústico ($D_{nT,w}$) a ruídos aéreos entre recintos e entre pisos é necessária a aplicação da ISO 16.283-1 (2014), em substituição a ISO 140-4 (1998), e para verificação da diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D_{2m,nTw}$), é necessária a aplicação da ISO 140-5 (1998). O valor obtido através dessas medições deve ser convertido em um número único através da ISO 717-1 (2013) para caracterizar o valor do desempenho acústico comparável aos valores estabelecidos na NBR 15.575 (2013).

Foi identificado e localizado o empreendimento e respectivos apartamentos a serem medidos. Após isso foram medidas a umidade do ar, temperatura ambiente e ruído de fundo. Foram especificados os equipamentos utilizados nas medições, abordados alguns aspectos a respeito da calibração e a maneira como deve ser realizada a correção do ruído de fundo evitando que as medições sejam afetadas por um ruído externo fora da sala de teste. Foram definidos alguns conceitos interessantes para melhor entendimento dos dados obtidos através das medições. Foi descrita a forma como ocorre a geração do som no ambiente, as faixas específicas de frequência que devem ser seguidas, o método de medição do tempo de reverberação, a avaliação da área de absorção sonora equivalente, o método de medição do nível de pressão sonora com o posicionamento da fonte e dos microfones, a quantidade de medições, e a forma expressão dos resultados. Ainda foi feito comentário à cerca da precisão e explícito o método de obtenção do valor global de isolamento sonoro aéreo. Para finalizar, foi avaliado o desempenho acústico de acordo com os requisitos mínimos para isolamento sonoro aéreo estabelecidos pela Norma de Desempenho.

Abaixo podem ser vistos os itens envolvidos na avaliação do desempenho acústico sonoro:

- Localização e identificação do empreendimento e unidades medidas
- Método de medição e normatização

- Equipamentos
- Calibração
- Definições
- Medição das condições ambientais
- Geração do som no ambiente emissor
- Medição do tempo de reverberação
- Absorção sonora equivalente
- Medição do nível médio de pressão sonora
- Correção do ruído de fundo
- Obtenção do valor global
- Relatórios de resultados
- Requisitos de avaliação

São listadas as etapas das medições e relatadas quaisquer modificações temporárias do conteúdo da edificação para o teste, por exemplo, a introdução de barreiras (difusores).

3.1 Localização e identificação do empreendimento e unidades medidas

Foi identificado e localizado o empreendimento através de mapa e fotos da fachada do mesmo. Além disso, foram reproduzidas as plantas baixas dos ambientes medidos e elaborados esquemas a fim de facilitar o entendimento do procedimento de medição.

3.1.1 Elementos construtivos a serem avaliados

Foram realizadas medições globais para as situações que envolviam os seguintes elementos:

- Vedação vertical interna entre ambientes da mesma unidade;
- Vedação vertical interna entre unidades distintas;
- Vedação horizontal interna entre unidades distintas;
- Vedação externa de fachada.

3.1.2 Localização dos elementos nos ambientes medidos

Essas medições ocorreram nos seguintes ambientes:

- Vedação vertical interna entre ambientes da mesma unidade: medição entre dormitórios;
- Vedação vertical interna entre unidades distintas (parede de geminação): medição entre ambientes que englobam sala de estar/jantar, cozinha e área de serviço de cada apartamento;
- Vedação horizontal interna entre unidades distintas: medição entre dormitórios de apartamentos situados em dois pavimentos subsequentes um ao outro;
- Vedação externa de fachada: medição realizada para fachada de vedação que isola ambiente interno constituído de sala de estar/jantar, cozinha e área de serviço do ambiente externo onde ocorre a movimentação de veículos e pessoas dentro do condomínio.

3.2 Método de medição e normatização

Como já foi visto, o método de medição utilizado para vedações internas e externas tem respectivos procedimentos descritos nas seguintes normas internacionais:

Método de engenharia, conforme ISO 16.283-1 “Acústica – Medição de campo para isolamento sonoro em edifícios e dos elementos de construção - Parte 1: Isolamento sonoro aéreo, para vedações internas verticais e horizontais”.

Método de engenharia, conforme ISO 140-5 “Acústica - Medição do isolamento em edifícios e dos elementos de construção - Parte 5: Medições de campo de isolamento ao ruído aéreo de elementos de fachadas e fachadas”.

3.3 Equipamentos

As normas ISO 16.283 (2014), ISO 140 (1998) e ISO 3382 (2012) estabelecem que os instrumentos de medição dos níveis de pressão sonora, incluindo microfone, cabo, dispositivos de gravação e outros acessórios, se utilizados, devem cumprir os requisitos para uma classe de instrumento 0 ou 1, de acordo com IEC 61672 -1 (2013) para aplicação de incidência aleatória. Os filtros devem cumprir os requisitos para uma classe de instrumento 0 ou 1, de acordo com a IEC 61260 (1995).

Os equipamentos para medição do tempo de reverberação devem cumprir os requisitos definidos na norma ISO 3382-2 (2012).

Para realizar as medições serão necessários equipamentos específicos de acústica e equipamentos gerais. Entre esses equipamentos estão:

Equipamentos acústicos:

- Calibrador acústico
- Microfone
- Amplificador de potência

- Fonte omnidirecional
- Analisador 1/3 oitava

Equipamentos não acústicos:

- Trena
- Protetor auditivo

3.3.1 Calibrador

Trata-se de uma fonte útil, portátil de som para calibração de medidores de nível de som e outros equipamentos de medição do som. O calibrador está de acordo com EN / IEC 60942, LS Classe 2 e Classe 1, e ANSI S1.40-1984, portanto de acordo com a ISO 16.283-1 (2014) e ISO 140-5 (1998).

Ele tem a finalidade de garantir a linearidade dos microfones de modo que se possa rapidamente compensar as condições de medição locais através da calibração antes de cada medição.

3.3.2 Microfone

Trata-se de um equipamento de alta precisão utilizado para medição do som em campo livre com alta sensibilidade e está em conformidade com a norma IEC 61672, classe 1, portanto de acordo com a ISO 16.283-1 (2014) e ISO 140-5 (1998).

3.3.3 Amplificador de Potência

Segundo Rocha (2004), o amplificador de potência tem como função principal fornecer potência ao sinal de áudio sem que ocorram distorções.

O mesmo é projetado para alimentar as fontes sonoras na medição de isolamento acústico aéreo e tempo de reverberação.

3.3.4 Fonte Dodecaédrica

Na maioria das medições acústicas de um edifício, a fonte sonora deve irradiar som uniformemente em todas as direções para obter resultados reproduzíveis e confiáveis e para isso, os padrões de medições acústicas de construção relevantes, ISO 140 (1998), ISO 16.283 (2014) e ISO 3382 (2012), requerem o uso de uma fonte de som omnidirecional.

A fonte sonora utilizada é constituída por um conjunto de 12 colunas em uma configuração dodecaédrica que irradia som uniformemente com uma distribuição esférica e está em conformidade com as normas citadas acima.

3.3.5 Analisador 1/3 de oitava

O analisador é concebido como uma solução avançada para a medição, análise e gravação de ruído e vibração. Esse equipamento permite ao operador acompanhar o resultado da medição em tempo real.

3.4 Calibração

De acordo com a norma ISO 16.283-1 (2014), no início e no final de cada sessão de medição e, pelo menos no início e no final de cada dia de medição, deve ser verificado todo o sistema de medição de nível de pressão de acordo com o que abrange a norma IEC 60942 (2003).

É necessária a atenção do operador cada vez que o calibrador é usado. Segundo a ISO 16.283-1 (2014), sem qualquer outro ajuste, a diferença entre as leituras deve ser inferior ou igual a 0,5 dB. Ultrapassando este valor, os resultados das medições realizadas após esta última verificação deverão ser rejeitados.

3.5 Definições

Existem alguns princípios importantes para o entendimento dos dados que se anseia obter através das medições e de forma esses dados são processados para atingir o valor final com o qual é possível avaliar o desempenho do isolamento. Em vista disso são abordados alguns conceitos interessantes para esse esclarecimento.

3.5.1 Nível médio de pressão sonora em um ambiente (L)

Os valores dos níveis de pressão sonora médio de energia para medições com microfone fixo são dados através da Equação 4.

$$L = 10 \log \left(\frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{n p_0^2} \right) \quad (4)$$

Onde:

$p_1^2, p_2^2, \dots, p_n^2$: são as pressões sonoras médias elevadas ao quadrado e divididas pelo número n de posições de microfone no quarto;

p_0 é a pressão sonora de referência e é igual a 20 μPa .

Na prática, os níveis de pressão sonora são geralmente mensurados e o nível de pressão sonora média deve ser determinado usando-se a Equação 5:

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right) \quad (5)$$

Onde:

L_i = nível de pressão sonora medido;

n = diferentes posições do aparelho de medição na sala.

O valor de L é dado em decibel.

3.5.2 Diferença de nível de pressão sonora (D)

Diferença nos níveis de pressão sonora média de energia entre a fonte e os quartos que recebem com um ou mais alto-falantes na sala de fonte que é calculado por meio da Equação 6:

$$D = L_1 - L_2 \quad (6)$$

Onde:

L_1 = nível de pressão sonora no ambiente emissor do ruído;

L_2 = nível de pressão sonora no ambiente de recepção do ruído.

O valor de D é dado em decibel.

3.5.3 Diferença de nível de pressão sonora a 2 metros da fachada (D_{2m})

Para fachadas, a diferença do nível de pressão sonora média do lado de fora, a 2 m da fachada e o nível de pressão sonora interno (ambiente receptor), é representada por D_{2m} , e calculada através da Equação 7:

$$D = L_{1,2m} - L_2 \quad (7)$$

Onde:

$L_{1,2m}$ = nível de pressão sonora média do lado de fora, a 2 m da fachada (dB);

L_2 = é o nível de pressão sonora médio na sala receptora (dB).

3.5.4 Diferença de nível padronizada (D_{nT})

O valor da diferença de nível D , é padronizado para um valor de referência do tempo de reverberação do ambiente receptor, e calculada a partir da Equação 8.

$$D_{nT}: D + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (8)$$

Onde:

T = é o tempo de reverberação na sala de recepção (s);

T_0 = é o tempo de reverberação de referência. Para moradias, $T_0 = 0,5s$.

O valor de D_{nT} é dado em decibel.

3.5.5 Diferença de nível padronizada, $D_{2m,nT}$

Para fachadas, a diferença de nível padronizada, $D_{2m,nT}$, dada em dB, equivale à diferença de nível padronizada para um valor de referência do tempo de reverberação do ambiente e é calculada através da Equação 9:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (9)$$

Onde:

D_{2m} = diferença de nível de pressão sonora a 2 metros da fachada (dB);

T = é o tempo de reverberação na sala de recepção (s);

T_0 = é o tempo de reverberação de referência (0,5s).

3.5.6 Diferença de nível normalizada, $D_{2m,n}$

A diferença de nível normalizada, $D_{2m,n}$, dada em dB, equivale à diferença de nível correspondente a uma área de absorção de referência no ambiente receptor e é calculada através da Equação 10:

$$D_{2m,n} = D_{2m} - 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad (10)$$

Onde:

D_{2m} = diferença de nível de pressão sonora a 2 metros da fachada (dB);

A = área de absorção ambiente receptor (m^2);

A_0 = área de absorção de referência no ambiente receptor ($10 m^2$).

$D_{2m,n}$ é dado em decibel.

3.5.7 Índice de redução sonora aparente (R')

Em geral, a potência do som transmitida para a sala de recepção consiste na soma de vários componentes a partir de diferentes elementos (paredes, pisos, tetos). Dessa forma o R' , calculado através da Equação 11, pode ser usado para comparar medições de campo com medições de do índice de redução de som de laboratório, R .

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3} \quad (11)$$

Onde:

W_1 = potência sonora incidente sobre um elemento de teste radiada para dentro do ambiente receptor, em watts (W);

W_2 = potência sonora irradiada pelo elemento de teste, em watts (W);

W_3 = potência sonora irradiada por elementos de flanco ou por outros componentes, em watts (W).

O valor de R' é dado em decibel (dB).

Para situações onde a energia sonora transmitida para o ambiente receptor estiver arraigada a um sistema composto de vários componentes, o índice de redução sonora aparente é estimado através da Equação 12:

$$R' = D + 10 \log \frac{S}{A} \quad (12)$$

Onde:

D = diferença de nível, em decibel (dB);

S = é a área da partição comum, em metros quadrados (m^2);

A = é a área de absorção equivalente da sala de recepção, em metros quadrados (m^2).

O valor de R' é dado em decibel, (dB).

Para medição de fachada, tem-se os métodos de elemento, que objetivam estimar o índice de redução sonora de cada elemento de fachada, e os métodos globais que estimam a diferença de nível sonoro de fora da fachada para dentro.

Em vista da medição de fachada do presente trabalho ter sido realizada no 2º pavimento do empreendimento, o ângulo de incidência sonora, ou seja, o ângulo entre o eixo do alto-falante direcionado para o centro da amostra de teste e a normal à superfície da fachada, é 45° . Sendo assim, o índice de redução sonora aparente para fachada em R'_{45° é dado pela Equação 13:

$$R'_{45^\circ} = L_{1,s} - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) - 1,5 \quad (13)$$

Onde:

$L_{1,s}$ = o nível de pressão sonora médio na superfície do elemento em teste, em decibel (dB);

L_2 = o nível de pressão sonora médio na sala receptora, em decibel(dB);

A = a área de absorção sonora equivalente na sala receptora, em metros quadrados (m^3);

S = é a área do elemento de separação, em metros quadrados (m^2).

No caso de fachada completa, S é igual à área da parte da fachada que pode ser vista a partir da sala receptora.

3.6 Medição das condições ambientais

As condições ambientais de temperatura e umidade, tanto da unidade emissora como receptora, deverão ser medidas com o propósito de perceber se alguma

variação brusca desses índices gerou a possibilidade de alguma alteração pontual dos resultados.

3.7 Geração de som no ambiente emissor

De acordo com a ISO 16.283-1 (2014), algumas questões relativas à geração de som devem ser consideradas:

- a) O ruído gerado deve ser estável e seu espectro de frequência contínua;
- b) Diferença máxima permitida de 6 dB entre as bandas de 1/3 oitava no ambiente e diferença mínima de 10 dB entre o nível de pressão sonora no ambiente receptor e o ruído de fundo. Caso seja necessário, deve ser realizada a correção de ruído de fundo;
- d) Ruído sendo gerado a partir de mais de um aut falante deve estar em fase;
- e) Caso seja utilizada uma única fonte de ruído devem ser realizadas duas posições da mesma no momento da medição;
- f) Para volumes de ambientes diferentes, o maior deve ser usado como emissor do ruído.

3.8 Medição do tempo de reverberação

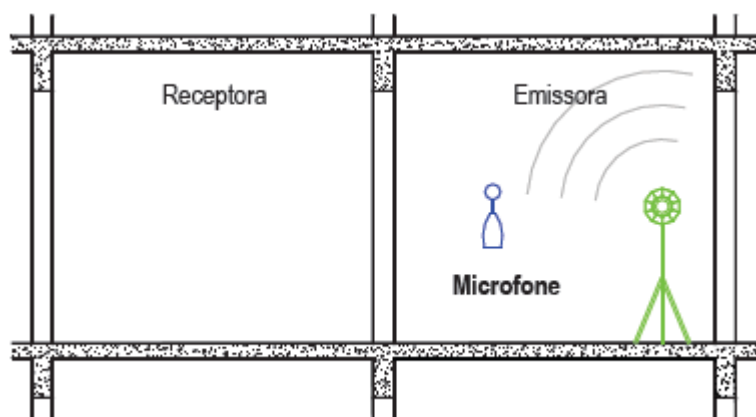
De acordo com a ISO 16.283-1 (2014), o tempo de reverberação deve ser medido através do método do ruído interrompido ou do método de resposta ao impulso integrado.

Para o presente trabalho foi utilizado o método do ruído interrompido e posições manuais de microfone. O número mínimo de medições necessárias para cada faixa de frequência é de seis. Pelo menos uma posição de fonte deve ser usada com três posições fixas de microfone e duas medições em cada posição, ou seis posições de microfone fixo e uma medição em cada posição.

A medição do tempo de reverberação para o método de engenharia é estabelecida na ISO 3382-2 (2008) e irá contemplar posições de fonte, microfone e tempo de decaimento.

Na Figura 8 é possível observar esquematicamente a medição do tempo de reverberação, onde o ponto de microfone e de fonte ocorrem no mesmo ambiente, denominado emissor. Enquanto que o ambiente receptor pode situar-se ao lado, para vedações verticais internas e abaixo ou acima, para vedações horizontais.

Figura 8 – Esquema de medição de ruído aéreo entre vedação vertical



Fonte: adaptado pela autora ProAcústica (2013).

3.9 Absorção sonora equivalente (A)

Para o cálculo da área de absorção sonora equivalente, obtida através da fórmula de Sabine, deve-se conhecer o tempo de reverberação, que nada mais é que o tempo em que o som se apresenta audível em um determinado local podendo sofrer influência sonora, como por exemplo uma sala de aula (ISO ,2014). Segue abaixo a fórmula de Sabine:

$$A = \frac{0,16 \times V}{T}$$

Onde:

A = área de absorção sonora equivalente, metros quadrados (m²);

V = volume da sala, em metros cúbicos (m^3);

T = tempo de reverberação, em segundos (s).

3.10 Medição do nível médio de pressão sonora (L)

Após avaliar as condições ambientais é preciso medir as dimensões do recinto, ou fachada. Devem ser calculados os volumes das salas que recebem e emitem o ruído (calculado para o metro cúbico mais próximo) e a área de qualquer elemento de separação S , conforme a ISO 16.283-1 (2014).

Ao calcular o volume do ambiente, os volumes de objetos na sala de recepção com superfícies não absorventes, como por exemplo, guarda-roupas, armários e eixos de instalação, não devem ser incluídos no volume total da sala de recepção.

Ao calcular a área da partição comum, não devem ser descontados objetos que possivelmente estejam junto a tal vedação, como armários fixos ou armários que cobrem parte da partição comum.

É possível medir o nível médio de pressão sonora, L , através de um único microfone, ao mudá-lo consecutivas vezes de posição, utilizando uma matriz de microfones fixos, através de um microfone oscilante ou ainda por um microfone em constante movimento. Mas para isso é necessário, que sejam atendidas as algumas considerações relacionadas a distância entre os equipamentos. As distâncias mínimas de separação entre os microfones devem seguir os critérios abaixo:

Para realizar a medição de nível médio de pressão sonora pode ser utilizado:

- a) Um único microfone, mudando-o de posição;
- b) Uma matriz de microfones fixos;
- c) Um microfone oscilante;
- d) Um microfone em constante movimento.

E deve-se respeitar distâncias mínimas entre os microfones:

- a) 0,7m entre as posições de microfone;
- b) 0,5m entre qualquer posição de microfone e limites físicos do ambiente;
- c) 1,0m entre o microfone e a fonte de emissão de ruído.

Além disso deve ser realizado um número mínimo de posições de microfone para duas fontes atuando juntas de:

- a) 5 posições fixas para microfone fixo, distribuídas uniformemente;
- b) 1 posição varrendo um raio mínimo de 0,7m com plano inclinado.

Portanto, para uma fonte de ruído operando em duas posições diferentes são necessárias, no mínimo:

- a) 10 medições para microfone fixo;
- b) 2 medições para microfone móvel.

O tempo mínimo de medição deve ser de:

- a) 6s para cada faixa de frequência para frequências abaixo de 400 Hz;
- b) 4s para cada faixa de frequência para frequências acima de 600 Hz;
- c) 30s para microfone em movimento.

Todas as medições devem ser realizadas utilizando filtros de banda de um terço de oitava, abrangendo pelo menos as seguintes frequências centrais, em hertz:

100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 e 3150.

E para ampliar a faixa devem ser medidas também nas frequências de 4000 Hz e 5000Hz.

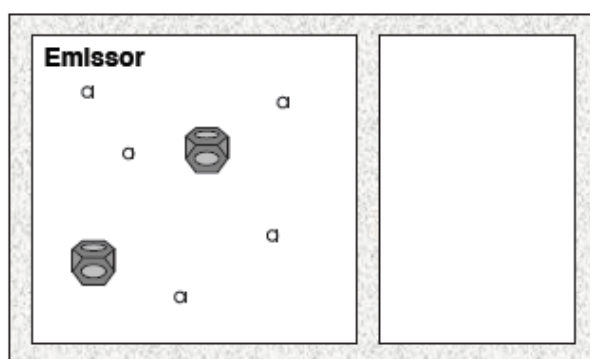
A partir disso poderá se avaliar o nível diferença normalizado (D_{nT}) entre os recintos e ainda a redução sonora aparente índice R' do elemento de separação em função da frequência.

De acordo com a ISO 16.283-1 (2014), os resultados da medição, D_{nT} ou R' devem ser dados em decibéis em todas as frequências de medição, e em bandas de um terço de oitava com uma casa decimal, tanto na forma tabular e sob a forma de uma curva.

3.10.1 Medição do isolamento sonoro aéreo entre vedações

A Figura 9 ilustra a distribuição de pontos de fonte e microfone no recinto emissor para medições entre vedações verticais internas. São duas posições diferentes de fonte, para cada 5 posições diferentes de microfone, resultando em 10 posições de L_1 , dentro dos quais são obtidos valores para cada frequência estabelecida.

Figura 9 – Imagem ilustrativa da distribuição de pontos no recinto emissor

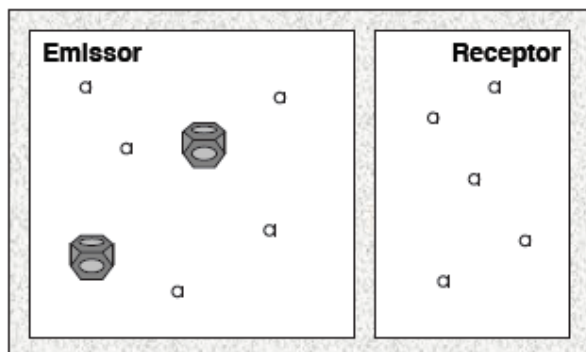


Fonte: adaptado pela autora de ProAcústica (2013).

Essa mesma configuração de pontos de fonte e microfone pode ser usada na obtenção do tempo de reverberação, porém, o tempo de duração da geração de ruído é diferente para as duas medições.

A Figura 10 ilustra a distribuição de pontos de microfone no recinto receptor. Mantendo-se a fonte no ambiente receptor, e passando o microfone para o recinto receptor é possível medir os 10 valores de L_2 oriundos das 5 novas posições de microfone, para cada uma das duas posições de fonte. Da mesma maneira que L_1 , para L_2 também são obtidos valores para cada frequência estabelecida. Dessa forma, tendo-se L_1 e L_2 , é possível obter a diferença de nível de pressão sonora D entre os recintos.

Figura 10 – Imagem ilustrativa da distribuição de pontos no recinto receptor



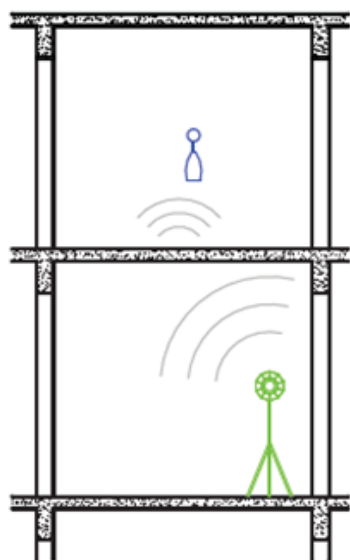
Fonte: adaptado pela autora de ProAcústica (2013).

3.10.2 Medição do isolamento sonoro aéreo entre pisos

A medição do isolamento sonoro aéreo entre vedações horizontais ocorre da mesma forma que as vedações verticais, porém, as unidades medidas devem encontrar-se sobrepostas, em pavimentos subsequentes um ao outro. O ambiente de um pavimento será o emissor, e o outro, o receptor. Ademais, devem ser seguidos os mesmos procedimentos das vedações verticais internas.

Na Figura 11 é possível observar esquematicamente uma medição de ruído aéreo entre piso.

Figura 11 – Esquema de medição de ruído aéreo entre piso



Fonte: adaptado pela autora de ProAcústica (2013).

3.10.3 Medição do isolamento sonoro aéreo de fachadas

Conforme a ISO 140-5 (1998), entre os dois métodos possíveis para medições de parâmetros de isolamento sonoro aéreo de elementos de fachadas e de fachadas completas em campo, método de elemento e método global, ambos permitem o uso de um alto-falante ou ruído de tráfego disponível como fonte sonora.

Ao medir o nível de pressão sonora médio no ambiente receptor, ou seja, o ambiente interno para medições de fachada, pode ser usado um único microfone fixo movendo-o ponto a ponto, vários microfones fixos em forma de malha ou ainda um microfone sendo deslocado continuamente.

Ao medir externamente a fachada, a medição deve ocorrer no ponto central da mesma, distanciando 2 metros desta, a 1,5 metros de altura sobre o piso, e a 1 metro distante de qualquer superfície.

A fim de se obter o nível de pressão sonora médio, ficam definidas no recinto receptor, 5 posições fixas de microfone para cada posição de fonte, sendo distanciadas 0,7 m entre posições, 0,5 m das superfícies e 1 m da fonte.

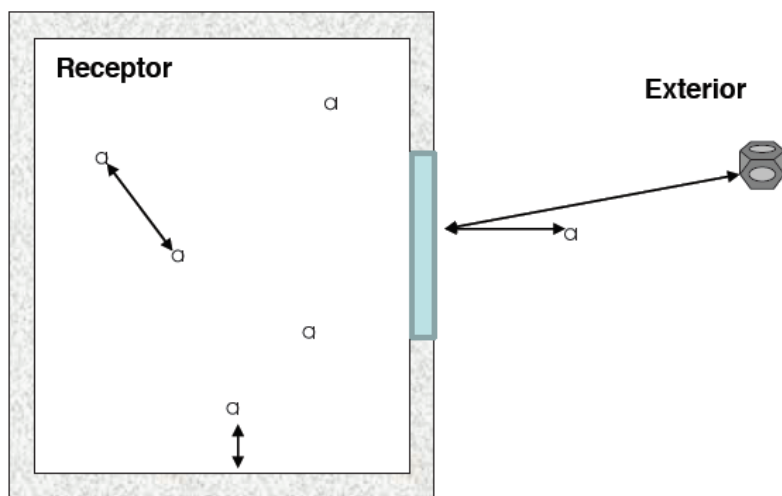
As posições da fonte ficam definidas em 2 unidades, fixas sendo distanciadas 1,4 m entre posições, 0,5 m das superfícies e 1 metro da outra posição de fonte.

O tempo de medição é de no mínimo 6 segundos.

Deve-se aqui fazer a medição de ruído de fundo definido em 1 posição de microfone.

Na Figura 12 é possível observar esquematicamente a distribuição de pontos para medição de ruídos aéreos de fachada.

Figura 12 – Imagem ilustrativa da distribuição de pontos no recinto receptor e exterior

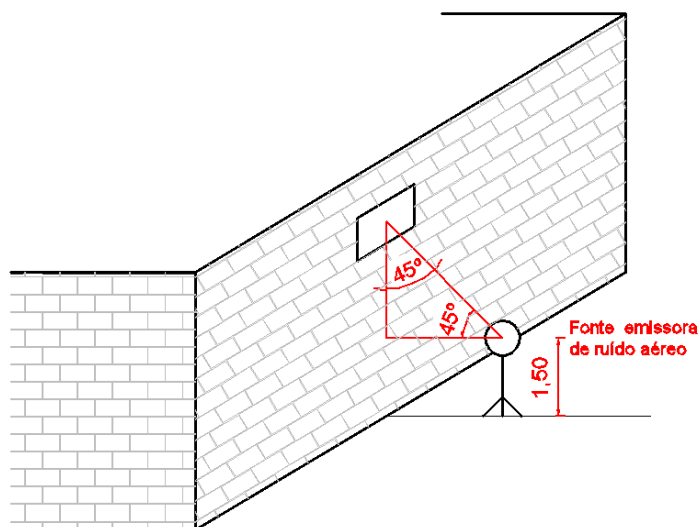


Fonte: adaptado pela autora de ProAcústica (2013).

O método global com fonte quantifica o isolamento sonoro aéreo de uma fachada completa numa situação específica relativa a uma posição 2 m em frente à fachada. Esse método é útil para situações onde a fonte de ruído real não pode ser usada, porém, seu resultado não pode ser comparado com o de medições em laboratório.

As medições de isolamento sonoro aéreo de fachadas com ruído de alto-falante por método global consistem em colocar a fonte sonora em uma ou mais posições do lado de fora da edificação a uma distância d da fachada, com ângulo de incidência sonora igual a 45° , como pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 – Posicionamento da fonte sonora a 45° da fachada



Fonte: Elaborado pela autora.

Os níveis de pressão sonora devem ser medidos com o microfone do lado externo da edificação, no meio da fachada, para se obter o nível de pressão sonora $L_{1,2m}$. O microfone deve estar a uma distância de 2m (+/- 0,2m) do plano da fachada e sua altura no lado de fora deve ser 1,5 m acima do nível do chão da sala receptora.

Caso o ambiente medido tiver mais do que uma parede do lado de fora ou for muito grande, normalmente é preciso mais posições de fonte sonora. Esse número irá depender das características direcionais do alto-falante e da área da fachada.

Se for realizada mais que uma posição de fonte, deve-se calcular o valor total da diferença de nível, dada em dB, através da Equação 14:

$$D_{ls,2m} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum 10^{D_{2m,i}/10} \right) \quad (14)$$

Onde:

$D_{2m,i}$: diferença de nível, em decibel (dB);

n = posições de fonte sonora, em unidade.

3.11 Correção do ruído de fundo

A correção de ruído de fundo tem a finalidade de garantir que um ruído externo não interfira nas medições. O nível de ruído de fundo deve ser de pelo menos 6 dB abaixo do nível de ruído de fundo e sinal combinados (e preferencialmente mais que 10 dB). Pode-se calcular as correções para o nível de pressão sonora conforme a Equação 15:

$$L = 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (15)$$

Onde:

L = nível de sinal ajustado, em decibel (dB);

L_{sb} = nível de som e ruído de fundo combinados, em decibel (dB);

L_b = é o nível de ruído de fundo, em decibel (dB).

Se a diferença nos níveis seja menor ou igual a 6dB em qualquer uma das faixas de frequência, usa-se $L = 1,3 \text{ dB}$.

Caso seja necessário transformar a diferença de nível normalizada ou o índice de redução sonora aparente em bandas de oitava, estes valores são calculados a partir dos três valores de banda de um terço de oitava, em cada oitava, a partir das equações 16 e 17 para diferença de nível padronizada e redução sonora aparente, respectivamente:

$$D_{nT, oct} = -10 \log \left(\sum_{n=1}^3 \frac{10^{-D_{nT} \cdot \frac{1}{3 \text{ oct}} \cdot n/10}}{3} \right) \quad (16)$$

$$R'_{oct} = -10 \log \left(\sum_{n=1}^3 \frac{10^{-\frac{R_1}{3 \text{ oct}} \cdot n/10}}{3} \right) \quad (17)$$

n = posições de fonte sonora, em unidade.

D_{nT} = diferença de nível padronizada, em decibel (dB);

$D_{nT, oct}$ = diferença de nível normalizada em bandas de oitava, em decibel (dB);

R'_{oct} = índice de redução sonora aparente em bandas de oitava, em decibel (dB).

A incerteza do resultado da medição deve ser determinada de acordo com o método apresentado na norma ISO 12999-1.

3.12 Obtenção do valor global

Para avaliar classificar corretamente o desempenho do isolamento é realizado o procedimento descrito na ISO 717-1.

A curva de D_{nT} , obtida na medição de campo, deve ser ajustada à curva de valores de referência para bandas de 1/3 de oitava, de forma que a soma dos desvios desfavoráveis seja o maior possível, porém não ultrapassando 32 dB.

O ajuste que mais se aproximar de 32 dB é utilizado para a obtenção do número único, $D_{nT,w}$, o qual nada mais é que o novo valor de referência na frequência de 500 Hz.

3.13 Relatório de resultados

De acordo com a ISO 16.283-1 (2014) e a ISO 140-5 (1998), os resultados devem ser expressos através de relatório que deverá conter os seguintes tópicos:

- a) referência à presente parte deste Standard International (ISO 16.283-1: 2014), e eventuais alterações;
- b) nome da organização que tem realizado as medições;
- c) nome e endereço da organização ou pessoa que pediu o teste (cliente);
- d) a data do teste;
- e) descrição e identificação da construção de edifício e do teste (incluindo qualquer modificação temporária do conteúdo de apartamentos para o ensaio);

f) volumes dos ambientes de emissão e recepção do ruído (em m^3) e a área S de qualquer elemento de separação utilizada para cálculo do R' ;

g) diferença de nível normalizada D_{nT} entre os quartos ou o índice de redução sonora R' do elemento de separação em função da frequência;

h) breve descrição do procedimento de teste, breves detalhes dos equipamentos, e indicar quais quartos utilizados os procedimentos de baixa frequência para o nível de pressão sonora e tempo de reverberação na 50Hz, 63Hz e 80Hz bandas de um terço de oitava;

i) indicação dos resultados que são para ser utilizados como pontos de medição. Devem ser dadas como D_{nT} ou R' . Esta deve ser aplicada se o nível de pressão sonora em qualquer banda não é mensurável por conta do ruído de fundo.

Para a avaliação do valor de número único, deve ser seguido o procedimento descrito na ISO 717-1. O relatório deve indicar que a avaliação ocorreu através do método de campo.

3.14 Requisitos de avaliação

De acordo com a CBIC (2013), mesmo que as ondas sonoras se reproduzam por diferentes meios e fenômenos bem complexos de acústica como difração, ressonância, reverberação e absorção estejam envolvidos, a NBR 15.575 não trata individualmente tais questões. Apenas tem seu interesse voltado para a propagação de ruídos aéreos e ruídos de impacto.

Os valores obtidos através das medições devem ser comparados com os requisitos da Norma de Desempenho, NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Para avaliar o desempenho do isolamento sonoro aéreo dos elementos verticais internos utiliza-se a Tabela 8, que é obtida da NBR 15.575-4 e pode ser observada abaixo:

Tabela 8 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)
Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	≥ 45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades).	≥ 40

Fonte: NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

Para avaliar o desempenho do isolamento sonoro aéreo dos elementos verticais externos utiliza-se a Tabela 9 que também é obtida da NBR 15.575-4 e pode ser observada abaixo:

Tabela 9 – Valores recomendados da diferença padronizada de nível ponderada e ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$
I	Habitação localizada distante de fonte de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e II	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação	≥ 30

Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências
 Fonte: NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

Para avaliar o desempenho do isolamento sonoro aéreo dos elementos horizontais internos utiliza-se a Tabela 10, obtida da NBR 15.575-3, e que pode ser observada abaixo:

Tabela 10 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$ entre pisos

Elemento	$D_{nT,w}$
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório	≥ 45
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em	≥ 40
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de	≥ 45

Fonte: NBR 15.575-3 (ABNT, 2013).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar o estudo de caso bem como realizar a transcrição das medições realizadas in loco, a fim de analisar a eficiência do isolamento acústico no que trata dos ruídos aéreos para vedações verticais e horizontal, com base na NBR 15.575 (ABNT, 2013). As medições a seguir foram possíveis devido a disponibilidade da empresa X em fornecer as unidades para análise.

No dia 21 de abril de 2015 foram ensaiadas 4 unidades habitacionais distintas, todas no mesmo empreendimento. O quadro 5 apresenta a ficha técnica do empreendimento foco do presente trabalho.

Quadro 5 – Ficha técnica do empreendimento

Ficha técnica do empreendimento	
Tipo	Residencial
Tipologia	1 e 2 quartos
Padrão	Minha Casa Minha Vida
Número de pavimentos	7

Fonte: Empresa X, 2015.

A Figura 14 apresenta a macrolocalização e a Figura 15 apresenta a fachada do empreendimento.

Figura 14 – Macrolocalização do empreendimento



Fonte: Google Earth, 2015.

Figura 15 – Fachada do empreendimento



Fonte: Empresa X, 2015.

A equipe foi formada pela aluna de graduação do curso de Engenharia Civil Ellin Maiara Kuhn sob a orientação do professor Leonardo Zanetti Rocha que também se fez presente. Além disso contou-se com o apoio do Instituto Tecnológico em Desempenho da Construção Civil (*itt Performance*) que enviou um de seus técnicos,

o laboratorista Rafael Heissler, a fim de realizar as medições sob o acompanhamento da aluna interessada.

O itt (Instituto Tecnológico em Desempenho da Construção) é um instituto no segmento da Região Sul do país que almeja atender todas as diretrizes da ABNT NBR 15575/2013, sendo assim, está se preparando para avaliar e desenvolver sistemas construtivos e estruturais quanto ao desempenho acústico e térmico, luminescência, resistências físicas e químicas, controle de propagação e resistência ao fogo, durabilidade e estanqueidade, certificando e valorizando empreendimentos do setor da construção civil na nova realidade presente, contribuindo para a competitividade nacional. O *itt Performance*, localiza-se no Complexo Tecnológico (antigo complexo industrial) na Avenida Unisinos, nº 950 na cidade de São Leopoldo, estado do Rio Grande do Sul e forneceu todos os equipamentos necessários para a realização das medições estabelecidas nas normas ISO e prescritas na Norma de Desempenho que embasa o presente trabalho (*itt Performance*, 2015a).

4.1 Etapas do Processo de Medição *in loco*

O procedimento de medição do isolamento de paredes verticais internas, paredes de geminação e entre pisos foi realizado com base na ISO 16.283 (Medição de campo do isolamento acústico em edifícios e dos elementos de construção - acústica Parte 1: Isolamento acústico aéreo) que substitui a ISO 140-4 (Acústica - Medição do isolamento em edifícios e dos elementos de construção - Parte 4: Medições de campo de isolamento ao ruído aéreo entre quartos). E o procedimento de medição do isolamento de fachada foi realizado com base na ISO 140-5 (Acústica - Medição do isolamento em edifícios e dos elementos de construção - Parte 5: Medições de campo de isolamento ao ruído aéreo de elementos de fachadas e fachadas). Utilizaram-se estes procedimentos para a medição *in loco* das unidades habitacionais fornecidas pela empresa X.

4.1.1 Equipamentos utilizados

Primeiramente foram definidos os equipamentos a serem utilizados como microfone, amplificador, fonte dodecaédrica e analisador. Todos esses equipamentos foram fornecidos pelo itt Performance.

As figuras 16, 17, 18, 19 e 20, ilustram, respectivamente, o calibrador, o microfone, a fonte dodecaédrica, o amplificador de potência e o analisador.

Figura 16 – Calibrador modelo Sound Calibrator Type 4231, precisão $\pm 0,2$ dB



Fonte: BKSv (20--).

Figura 17 - Microfone de campo livre, modelo: 4189 - $\frac{1}{2}$ polegadas - de 6,3 Hz a 20 kHz



Fonte: BKSv (20--).

Figura 18 – Amplificador de potência modelo: *Power Amplifier - Type 2734*



Fonte: Autora (2015).

Figura 19 – Fonte dodecaédrica modelo: *OmniPower Sound Source - Type 4292-L*



Fonte: Autora (2015).

Figura 20 – Analisador modelo: sonômetro analisador 2270



Fonte: Autora (2015).

Os equipamentos utilizados nas medições foram calibrados conforme a norma IEC 60942 como prescreve a ISO 16.283-1.

Foram medidos a umidade relativa do ar, a temperatura e o ruído de fundo das unidades. O som foi gerado a partir da fonte dodecaédrica ligada ao amplificador. A seguir, foram medidos o tempo de decaimento do som gerado nos ambientes, RT_{20} , a diferença de nível de pressão sonora padronizada entre dois ambientes, D_{nt} , e a diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada, $D_{2m,nT,w}$. As medições nas unidades habitacionais foram realizadas de forma a obterem-se valores de unidade decibel dB, sendo que para compará-los aos valores estabelecidos na Norma de Desempenho, foi necessário calcular o RT_{60} do som nos ambientes e tratar os dados através do procedimento descrito na ISO 717-1.

4.1.2 Medição do tempo de reverberação T_{20}

Foi medido o tempo de reverberação T_{20} , que nada mais é que o tempo necessário para que o nível de pressão sonora diminua 60dB. O T_{60} resulta da multiplicação por 3 do tempo necessário para que o nível reduza 20dB (CESVA, 20-).

O T_{20} foi medido através do procedimento descrito na ISO 16.283-1 (2014), sendo feitas 5 medições para cada uma das duas posições de fonte, totalizando então, 10 medições em todas as faixas de frequências previstas de 100 Hz a 5000Hz.

4.1.3 Medição D_{nT}

Primeiramente foram realizadas duas posições de fonte no ambiente emissor de ruído, sendo que para cada uma delas, foram efetuadas 5 posições de microfone distintas no mesmo ambiente, equivalendo a 10 medições.

Após isso, o microfone foi posicionado no ambiente receptor, onde foi alternado entre cinco posições diferentes para cada uma das duas posições de fonte, que permanecia no ambiente emissor, totalizando 10 medições.

4.1.4 Tratamento de Dados

As medições de desempenho acústico do empreendimento foram realizadas com base no método de engenharia, por ser este o método mais indicado segundo a NBR 15.575:2013. O método de engenharia é descrito na ISO 140-5:1998 e ISO 16.283-1:2014, assim como as equações necessárias para obter a diferença de nível padronizada, o D_{nT} , para todas as frequências estabelecidas pela normatização. Entretanto, os valores D_{nT} provenientes das medições precisam ser ajustados para um único valor para ser comparado com os parâmetros da Norma de Desempenho.

Esse procedimento de ajuste para o valor único, realizado através da ISO 717-1, vai resultar na diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, que pode então ser comparada aos parâmetros de desempenho da NBR 15.575.

A partir das medições são obtidos os valores de nível de pressão sonora no ambiente emissor (L_1) e no ambiente receptor (L_2). Subtraindo-se o L_2 do L_1 , é obtida a diferença de níveis de pressão sonora (D) entre os ambientes.

O valor da Diferença de Nível de Pressão Sonora (D) precisa então ser aprimorado para o valor da Diferença de Nível Padronizada (D_{nT}). Para isso, tem-se a equação 18:

$$D_{nT}: D + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (18)$$

Sendo T o tempo de reverberação medido na sala de recepção e T_0 o tempo de reverberação de referência, (igual a 0,5 segundos para moradias), podem ser calculados os valores de D_{nT} para cada frequência.

Os valores de D_{nT} em função de cada faixa de frequência medida irão gerar uma curva, que deverá ser ajustada a curva de valores de referência para ruído aéreo em bandas de 1/3 de oitava, conforme a ISO 717-1. Os valores de referência para ruído aéreo em bandas de 1/3 de oitava podem ser vistos no Quadro 6.

Quadro 6 – Valores de referência para ruído aéreo em bandas de 1/3 de oitava

Frequência	Valores de referência para bandas de 1/3 de oitava
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

Fonte: ISO 717-1 (2013).

Ao adaptar a curva medida a curva de referência deve-se buscar o melhor ajuste de forma que o somatório dos desvios favoráveis aproxime-se o máximo possível de 32 dB, sem ultrapassar esse valor. A partir dessa nova curva, o valor D_{nT} obtido para a frequência de 500 Hz será correspondente ao $D_{nT,w}$, valor de isolamento que equivale aos prescritos em norma e que pode ser comparado a esta para avaliação e enquadramento do desempenho acústico.

4.2 Resultados

A seguir apresentam-se as medições realizadas. As plantas baixas das unidades habitacionais medidas foram fornecidas pela Empresa X e foram reproduzidas esquematicamente para distinguir o tipo de vedação medida. As características dos materiais constituintes das vedações também foram fornecidas.

Além disso, seguem tabelas comparativas entre valor medido e requisitos mínimos de norma.

Os esquemas elaborados para identificar as posições de fonte e microfone realizadas na obtenção do tempo de reverberação e isolamento acústico encontram-se nos Anexos, ao final deste trabalho.

Todas medições foram realizadas com emissão de ruído aéreo muito acima de 10 dB em relação ao ruído de fundo, dessa forma não foi necessário realizar correções de ruído de fundo para nenhuma das amostragens.

4.2.1 Características da composição dos elementos de vedação

As vedações verticais externas e internas do empreendimento são compostas por alvenaria em bloco cerâmico estrutural de 14 cm de largura, vidro de 5 mm de espessura, revestimento em argamassa de 1,5 mm de espessura e pintura acrílica nas paredes. As esquadrias compõem-se de portas de madeira e janelas de alumínio e vidro 5 mm de espessura.

Já a vedação horizontal é composta por laje pré-fabricada de 12 cm de espessura, executada com sistema de vigota em concreto e tavela cerâmica. Os revestimentos do teto são executados em argamassa e pintura, e para os pisos é utilizada a cerâmica.

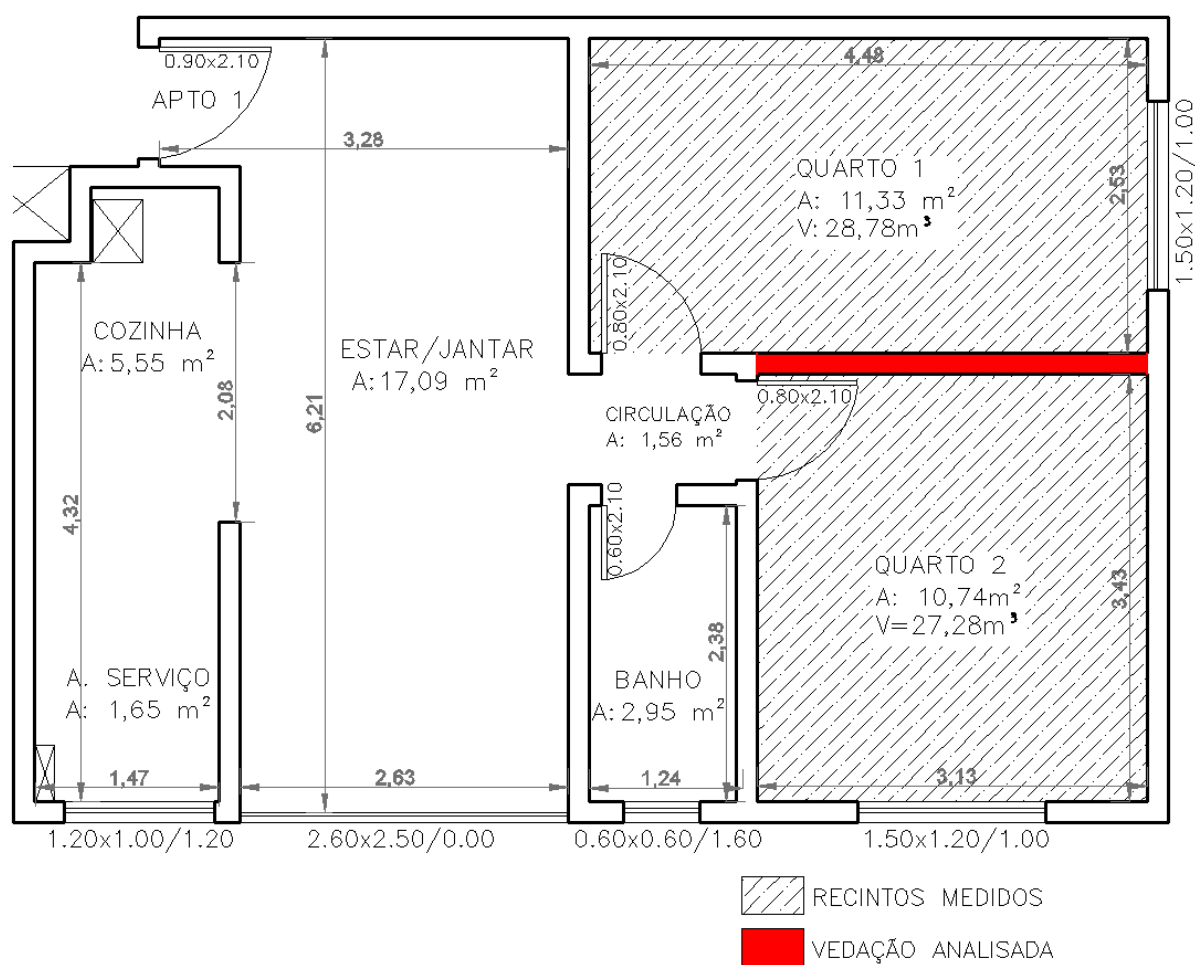
4.2.2 Medição entre dormitórios

A primeira medição foi realizada entre dois dormitórios localizados no apartamento 1 e denominados aqui, como QUARTO 1 e QUARTO 2. Os quartos apresentam volumetria de 28,78 m³ e 27,28 m³ para QUARTO 1 e QUARTO 2, respectivamente. Em concordância com a ISO 16.283-1 (2014), apresentando o QUARTO 1 o maior volume, este fica definido como ambiente emissor de ruído, enquanto o QUARTO 2, o ambiente receptor.

Os dois quartos possuem uma esquadria de janela em alumínio com dimensões de 1,50 m de comprimento e 1,20 m de altura composta ainda, por duas folhas de vidro de 5 mm de correr.

A Figura 21 apresenta a disposição dos quartos do apartamento 1 onde foi identificada a vedação a ser medida.

Figura 21 – Disposição dos QUARTOS 1 e 2 no apartamento 1



Fonte: Reproduzido pela autora com base no projeto fornecido pela Empresa X (2015).

A área da vedação de isolamento, volumetrias e fatores climáticos medidos nos recintos emissor e receptor, bem como desvio de calibração dos equipamentos encontram-se dentro da norma, e podem ser vistas no Quadro 7.

Quadro 7 – Dados da medição entre os QUARTOS 1 e 2

Dados da medição entre quartos	
Área da partição (m ²):	7,95
Volume do cômodo emissor (m ³):	28,8
Volume do cômodo receptor (m ³):	27,3
Temperatura na sala receptora (°C):	28,6
Umidade na sala receptora (%):	60,5
Temperatura na sala emissora (°C):	28,8
Umidade na sala emissora (%):	60,9
Desvio de calibração (dB):	-0,24

Fonte: Adaptado pela autora, com base nos dados do itt Performance (2015b).

Foram realizadas duas posições de fonte e 5 posições de microfone para cada posição de fonte para medição do tempo de reverberação no QUARTO 2, ambiente receptor, e as mesmas podem ser vistas no Apêndice A.

Após isso, foram realizadas duas posições de fonte e 5 posições de microfone para cada posição de fonte (APÊNDICE B), com o propósito de medir o nível médio de pressão sonora L1 no ambiente emissor. Depois, foi medido o nível médio de pressão sonora L2, no ambiente receptor, e as respectivas posições de fonte e microfone podem ser vistas no Apêndice C.

A média do tempo de reverberação, L_1 , L_2 , D e D_{nT} medido para cada frequência pode ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de T_{20} , L_1 , L_2 , D e D_{nT} por frequência para medição da vedação vertical entre QUARTO 1 e QUARTO 2

Resumo dos valores obtidos na medição entre dormitórios					
Frequência (Hz)	Tempo de reverberação T_{20} (s)	L_1 (dB)	L_2 (dB)	D (dB)	D_{nT} (dB)
100	3,02	98,29	69,90	28,39	36,20
125	3,72	112,00	84,78	27,22	35,94
160	3,33	111,61	92,15	19,46	27,69
200	3,45	113,16	82,33	30,83	39,22
250	3,59	109,71	85,26	24,45	33,01
315	3,34	112,24	85,11	27,13	35,38
400	3,43	111,37	83,89	27,48	35,84
500	3,59	110,30	81,39	28,91	37,47
630	3,55	109,08	79,67	29,41	37,92
800	3,44	107,13	76,93	30,20	38,58
1000	3,17	106,01	72,87	33,14	41,16
1250	2,97	106,75	70,69	36,06	43,80
1600	2,86	108,74	72,07	36,67	44,24
2000	2,76	106,57	70,22	36,35	43,77
2500	2,66	107,65	73,45	34,20	41,46
3150	2,57	106,23	75,82	30,41	37,52

Fonte: Adaptado pela autora, com base nos dados do itt Performance (2015b).

Tendo obtido os valores de L_1 e L_2 , sabe-se o D , e ao padronizar esse valor, obtêm-se o D_{nT} para cada frequência medida. Porém, ainda é preciso obter o valor único, comparável com a norma.

Para isso, realizou-se o procedimento de ajuste da curva dos valores da diferença de pressão sonora padronizada D_{nT} , para a curva dos valores de referência, conforme a ISO 717-1. Os desvios desfavoráveis somaram 31,05 decibéis, estando, portanto, dentro do valor máximo de 32 decibéis, permitido pela norma. Os valores oriundos desse procedimento podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12 – Procedimento ISO 717-1 para obtenção do valor único – entre dormitórios

Frequência (Hz)	Atenuação (Hz)	Valor de referência -11,4	Diferença
100	36,20	21,6	
125	35,94	24,6	
160	27,69	27,6	
200	39,22	30,6	
250	33,01	33,6	0,59
315	35,38	36,6	1,22
400	35,84	39,6	3,76
500	37,47	40,6	3,13
630	37,92	41,6	3,68
800	38,57	42,6	4,03
1000	41,17	43,6	2,43
1250	43,80	44,6	0,80
1600	44,24	44,6	0,36
2000	43,77	44,6	0,83
2500	41,46	44,6	3,14
3150	37,52	44,6	7,08

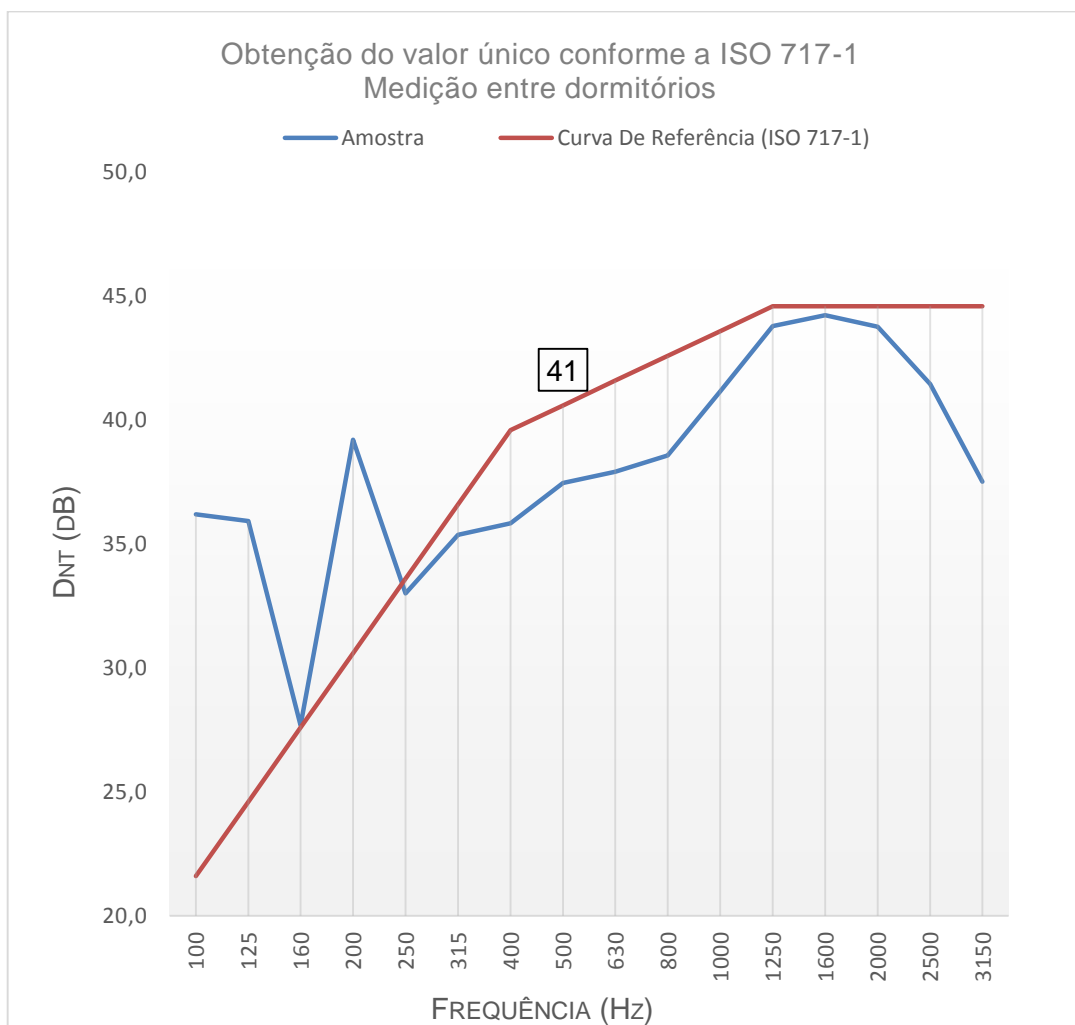
\sum desvios positivos (diferença) = 31,05 dB

Fonte: Adaptado pela autora, com base nos dados do itt Performance (2015b).

O valor de referência ajustado, na faixa de frequência de 500 Hz, é o nosso valor único. Foi obtido o valor único, $D_{nT,w}$ no valor de 40,6 dB, portanto, arredondando, 41 dB.

O ajuste da curva obtida da medição à curva de referência, foi ilustrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Obtenção do valor único conforme ISO 717-1 – medição entre dormitórios



Fonte: Adaptado pela autora, com base nos dados do itt Performance (2015b).

Analisando o $D_{nT,w}$ obtido de 41 dB, foi classificado segundo a NBR 15.575, como atendendo positivamente o desempenho mínimo (QUADRO 8).

Quadro 8 – Resultado da medição entre dormitórios

Medição entre dormitórios - Apartamento 1		
Local	Medição (dB)	Norma (dB)
Quarto (1) - Quarto (2)	41	≥40

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pelo itt Performance.

4.2.3 Medição entre unidades distintas – parede de geminação

A segunda medição foi realizada entre dois apartamentos diferentes, ou seja, duas unidades distintas, unidas e isoladas por parede de vedação vertical interna. Os ambientes emissor e receptor constituem-se pela integração da sala de estar e jantar com cozinha, área de serviço e uma pequena circulação de acesso ao sanitário e dormitórios. Por não existir barreira física de isolamento entre esses recintos, tal como paredes e portas, diz-se que o ambiente é integrado. Isso significa que o ruído irá tranquilamente percorrê-los como se fossem um ambiente só. Por isso, esse conjunto de recintos deve ser tratado como um único ambiente nas medições de isolamento acústico.

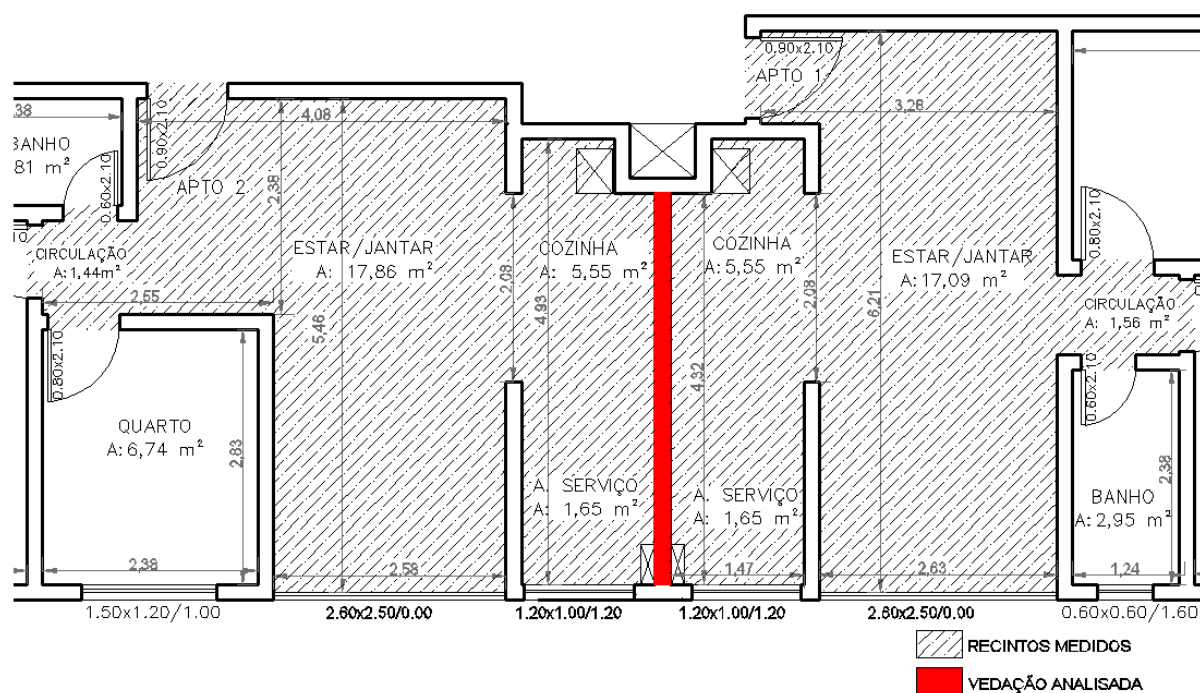
Dessa forma tem-se dois ambientes integrados, um no apartamento 1 e outro no apartamento 2, denominados aqui como, AMBIENTE 1 e AMBIENTE 2, respectivamente. De acordo com a ISO 16.283-1 (2014), o AMBIENTE 1 por apresentar volumetria de 65,66 m³, inferior ao AMBIENTE 2, que possui volume de 67,20 m³, é definido como receptor, enquanto que o segundo fica sendo o emissor.

Os dois ambientes possuem esquadria de vedação idêntica em vidro de 5 mm de espessura e dimensões de 2,60 m de largura por 2,50 m de altura, sendo parcialmente fixa, até a altura de 1,20 m, e posteriormente subdividida em 4 folhas, sendo duas de correr e duas fixas. Além dessa, há outra esquadria de janela em alumínio e vidro de 5mm, com dimensões de 1,20 m de largura por 1,00 m de altura situada na área de serviço. Os ambientes ainda são compostos por portas de madeira sendo duas de dimensões 80 cm de largura por 2,10 m de altura, uma de 60 cm por 2,10 m de altura e outra de 90 cm por 2,10 m de altura.

O revestimento é igual em todos ambientes do apartamento, sendo o piso em cerâmica e as paredes e o forro em argamassa de 1,5 cm de espessura e pintura em tinta acrílica.

A Figura 22 apresenta a disposição dos ambientes 1 e 2 entre os quais foi realizada a medição.

Figura 22 – Disposição da vedação entre ambientes de unidades geminadas - apartamentos 1 e 2



Fonte: Reproduzido pela autora com base no projeto original, fornecido pela Empresa X (2015).

A área da partição de isolamento, volumetrias e fatores climáticos medidos nos ambientes emissor e receptor, bem como desvio de calibração dos equipamentos encontram-se dentro da norma, e podem ser vistas no Quadro 9.

Quadro 9 – dados da medição entre unidades distintas

Dados medição entre unidades distintas	
Área da partição (m²):	10,97
Volume do cômodo emissor (m³):	67,2
Volume do cômodo receptor (m³):	65,66
Temperatura na sala receptora (°C):	28,6
Umidade na sala receptora (%):	60,5
Temperatura na sala emissora (°C):	28,8
Umidade na sala emissora (%):	60,9
Desvio de calibração (dB):	-0,24

Fonte: adaptado pela autora com base nos dados do itt Performance (2015b).

Foram realizadas duas posições de fonte e 6 posições de microfone para cada posição de fonte, para medição do tempo de reverberação no recinto receptor, AMBIENTE 1, e as mesmas podem ser vistas esquematicamente no Apêndice D.

Após isso, foram realizadas duas posições de fonte e 6 posições de microfone para cada posição de fonte (APÊNDICE E), com o propósito de medir o nível médio de pressão sonora L_1 no ambiente emissor. Em seguida, foi medido o nível médio de pressão sonora L_2 , com a fonte posicionada no apartamento 2, e o microfone no apartamento 1, ambiente receptor. As respectivas posições de fonte e microfone podem ser vistas no Apêndice F.

A média do tempo de reverberação, L_1 , L_2 , D e D_{nT} medido para cada frequência pode ser observada na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores médios de T_{20} , L_1 , L_2 , D e D_{nT} por frequência para medição da vedação vertical entre unidades distintas

Resumo dos valores obtidos na medição entre unidades distintas					
Frequência (Hz)	Tempo de reverberação T_{20} (s)	L_1 (dB)	L_2 (dB)	D (dB)	D_{nT} (dB)
100	2,6	100,53	71,14	29,39	36,55
125	2,62	106,4	69,91	36,49	43,68
160	2,56	110,32	76,3	34,02	41,11
200	3,02	107,52	73,78	33,74	41,55
250	3,4	106,17	77,38	28,79	37,12
315	3,17	107,06	78,45	28,61	36,63
400	3,12	106,62	77,93	28,69	36,64
500	2,95	105,67	75,25	30,42	38,13
630	3,05	104,65	72,29	32,36	40,21
800	3,23	103,3	68,9	34,4	42,50
1000	2,96	101,9	64,65	37,25	44,97
1250	2,72	102,87	63,51	39,36	46,72
1600	2,79	105,21	65,05	40,16	47,63
2000	2,73	102,82	62,68	40,14	47,51
2500	2,56	103,81	63,79	40,02	47,11
3150	2,41	102,18	63,55	38,63	45,46

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015b.

Tendo então, os valores de L_1 e L_2 , obtêm-se o D , e padroniza-se esse valor para D_{nT} , em cada frequência medida. A partir disso, possível obter o valor único, comparável com a norma.

Dessa forma, ajustou-se a curva dos valores da diferença de pressão sonora padronizada D_{nT} , para a curva dos valores de referência, conforme a ISO 717-1. Os desvios desfavoráveis somaram 31,49 decibéis, estando, portanto, dentro do valor máximo de 32 decibéis, permitido pela norma. Os valores oriundos desse procedimento podem ser vistos na Tabela 14.

Tabela 14 – Procedimento ISO 717-1 para obtenção do valor único – entre unidades distintas

Frequência (Hz)	Atenuação (Hz)	Valor de referência - 8	Diferença
100	36,55	25,0	
125	43,68	28,0	
160	41,11	31,0	
200	41,55	34,0	
250	37,12	37,0	
315	36,63	40,0	3,37
400	36,64	43,0	6,36
500	38,13	44,0	5,87
630	40,21	45,0	4,79
800	42,50	46,0	3,50
1000	44,97	47,0	2,03
1250	46,72	48,0	1,28
1600	47,63	48,0	0,37
2000	47,51	48,0	0,49
2500	47,11	48,0	0,89
3150	45,46	48,0	2,54

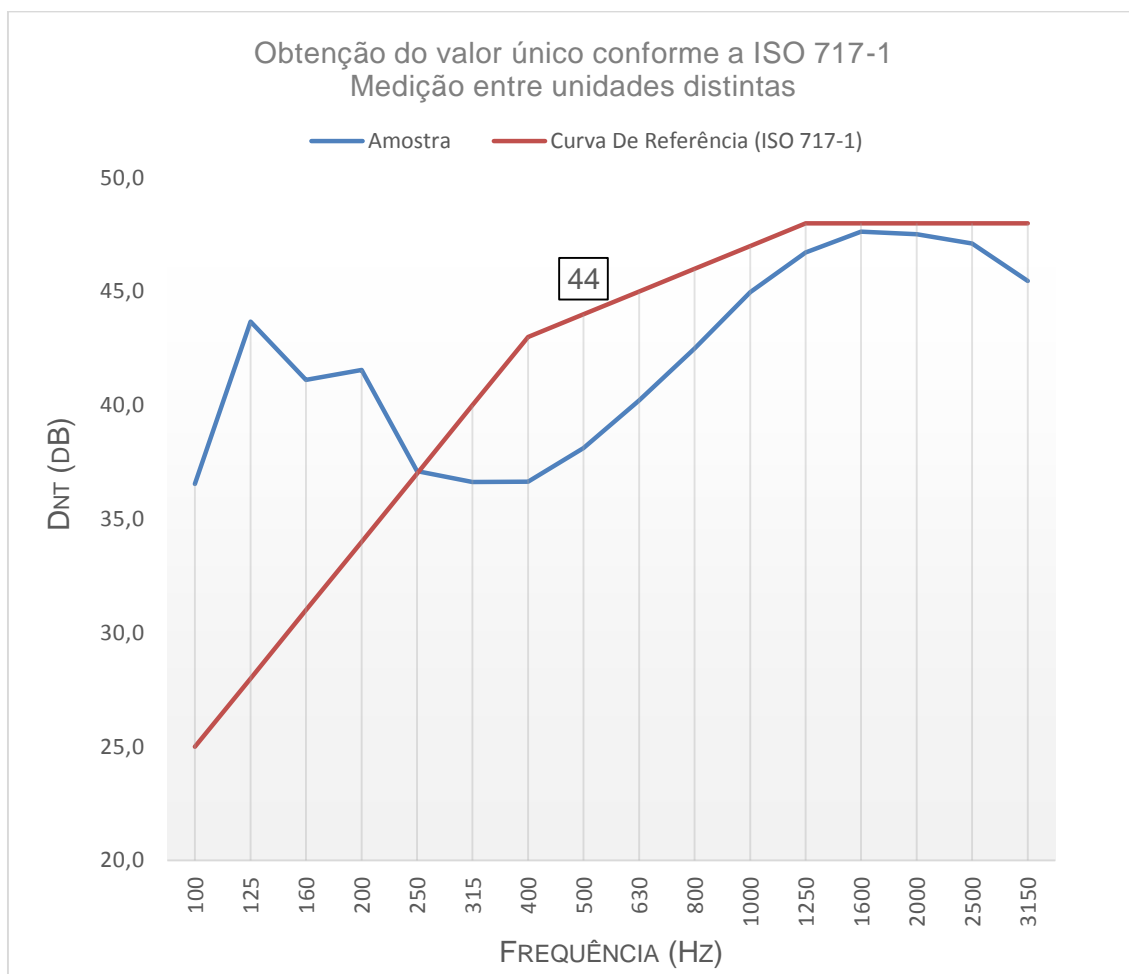
Σ desvios positivos (diferença) = 31,49 dB

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015b.

O valor de referência ajustado, na faixa de frequência de 500 Hz, é tido como valor único. Foi obtido o valor único, $D_{nT,w}$ de 44 dB para a presente medição.

O ajuste da curva obtida, à curva de referência, foi ilustrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Obtenção do valor único conforme ISO 717-1 – medição entre unidades distintas



Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015b.

Analisando o $D_{nT,w}$ obtido de 44 dB, o isolamento sonoro aéreo entre unidades distintas foi classificado segundo a NBR 15.575, como atendendo positivamente ao desempenho mínimo (QUADRO 10).

Quadro 10 – Resultado da medição entre unidades distintas

Medição entre unidades distintas - apartamento 1 e 2		
Local	Medição (dB)	Norma (dB)
Cozinha + Estar/Jantar + A.Serviço + Circulação (Apto 2) - Cozinha + Estar/Jantar + A.Serviço + Circulação (Apto 1)	44	≥40

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015b.

4.2.4 Medição vertical – ruído aéreo de piso

A terceira medição foi realizada entre unidades de pavimentos distintos. Assim sendo, foi definido o dormitório de duas unidades sobrepostas verticalmente como recintos de medição. Esses ambientes são isolados pelo piso, ou seja, vedação horizontal interna. Tanto o dormitório do pavimento inferior, denominado aqui como QUARTO 3-6º Pav como o dormitório do pavimento superior, denominado QUARTO 3-7º Pav, possuem a mesma volumetria, pois encontram-se em pavimentos tipo, correspondentes ao 6º e 7º pavimentos do BLOCO C do empreendimento, respectivamente.

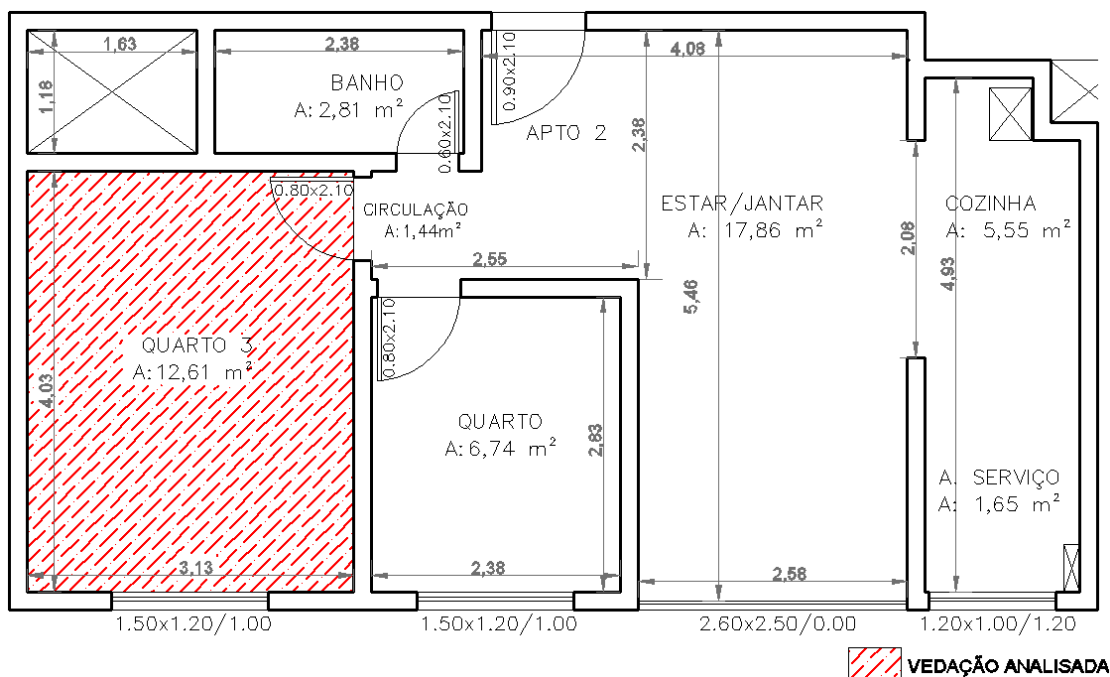
Tendo os dois ambientes as mesmas volumetrias, cerca de 32,03 m³, ficou definido o recinto emissor como sendo QUARTO 3-7ºPav e o recinto receptor, o QUARTO 3-6ºPav.

Ambos ambientes possuem uma esquadria de janela em alumínio com dimensões de 1,50 m de comprimento e 1,20 m de altura composta ainda, por duas folhas de vidro de 5 mm de correr. Além disso, há outra esquadria no ambiente, uma porta de madeira de 80cm de largura por 2,10m de altura.

O revestimento é idêntico aos demais ambientes do apartamento, sendo o piso em cerâmica e as paredes e o forro em argamassa de 1,5 cm de espessura e pintura em tinta acrílica.

Na figura 23 é possível observar a disposição do QUARTO 3, que apresenta as mesmas configurações para o 6º e o 7º pavimento, entre os quais foi realizada a medição.

Figura 23 – Disposição da vedação horizontal entre ambientes de unidades geminadas sobrepostas – 6º e 7º pavimentos



Fonte: Reproduzido pela autora com base no projeto original, Empresa X (2015).

A área da partição de isolamento, ou seja, a área do piso, volumetrias e fatores climáticos medidos nos ambientes emissor e receptor, bem como desvio de calibração dos equipamentos encontram-se dentro da norma, e podem ser vistos no Quadro 11.

Quadro 11 – Dados da medição entre pisos

Dados medição entre pisos	
Área da partição (m²):	12,61
Volume do cômodo emissor (m³):	32,03
Volume do cômodo receptor (m³):	32,03
Temperatura na sala receptora (°C):	28,6
Umidade na sala receptora (%):	60,5
Temperatura na sala emissora (°C):	28,8
Umidade na sala emissora (%):	60,9
Desvio de calibração (dB):	-0,24

Fonte: itt Performance, modificado pela autora (2015b).

Foram realizadas duas posições de fonte e 5 posições de microfone para cada posição de fonte a fim de medir o tempo de reverberação no QUARTO 3-6º PAV,

ambiente receptor, e as mesmas podem ser vistas esquematicamente no Apêndice G.

Após medir o tempo de reverberação, foram realizadas duas posições de fonte e 5 posições de microfone para cada posição de fonte (APÊNDICE H), com o propósito de medir o nível médio de pressão sonora L_1 no ambiente emissor, QUARTO 3-7º Pav. Depois foi medido o nível médio de pressão sonora L_2 , no ambiente receptor, QUARTO 3-6º Pav, e as respectivas posições de fonte e microfone podem ser vistas no Apêndice I.

A média do tempo de reverberação, L_1 , L_2 , D e D_{nT} medido para cada frequência pode ser observada na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores de T_{20} , L_1 , L_2 , D e D_{nT} por frequência para medição da vedação vertical entre pisos

Resumo da média dos valores obtidos na medição entre pisos					
Frequência (Hz)	Tempo de reverberação T_{20} (s)	L_1 (dB)	L_2 (dB)	D (dB)	D_{nT} (dB)
100	0,53	104,54	61,05	43,49	43,74
125	0,33	112,5	71,04	41,46	39,66
160	0,46	112,25	70,43	41,82	41,46
200	0,51	111,63	69,85	41,78	41,87
250	0,49	110,88	68,65	42,23	42,14
315	0,46	112,68	74,26	38,42	38,06
400	0,45	111,85	69,34	42,51	42,05
500	0,49	110,78	66,21	44,57	44,48
630	0,53	109,11	63,98	45,13	45,38
800	0,57	107,62	61,24	46,38	46,95
1000	0,55	105,91	56,2	49,71	50,12
1250	0,56	106,81	55,73	51,08	51,57
1600	0,55	109,35	56,53	52,82	53,23
2000	0,55	106,74	53,24	53,5	53,91
2500	0,51	107,51	54,05	53,46	53,55
3150	0,52	106,04	53,99	52,05	52,22

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015b.

Sabem-se já, os valores de L_1 e L_2 , então obtêm-se o D , e padroniza-se esse valor para D_{nT} , em cada frequência medida.

Ajustou-se então, a curva dos valores da diferença de pressão sonora padronizada D_{nT} , à curva dos valores de referência, conforme a ISO 717-1. Os desvios desfavoráveis somaram 31,82 decibéis, estando, portanto, dentro do valor máximo de 32 decibéis, permitido pela norma. Os valores oriundos desse procedimento estão explícitos na Tabela 16.

Tabela 16 – Procedimento ISO 717-1 para obtenção do valor único – entre pisos

Frequência (Hz)	Atenuação (Hz)	Valor de referência -2,8	Diferença
100	43,74	30,2	
125	39,66	33,2	
160	41,46	36,2	
200	41,87	39,2	
250	42,14	42,2	0,06
315	38,06	45,2	7,14
400	42,05	48,2	6,15
500	44,48	49,2	4,72
630	45,38	50,2	4,82
800	46,95	51,2	4,25
1000	50,12	52,2	2,08
1250	51,57	53,2	1,63
1600	53,23	53,2	
2000	53,91	53,2	
2500	53,55	53,2	
3150	52,22	53,2	0,98

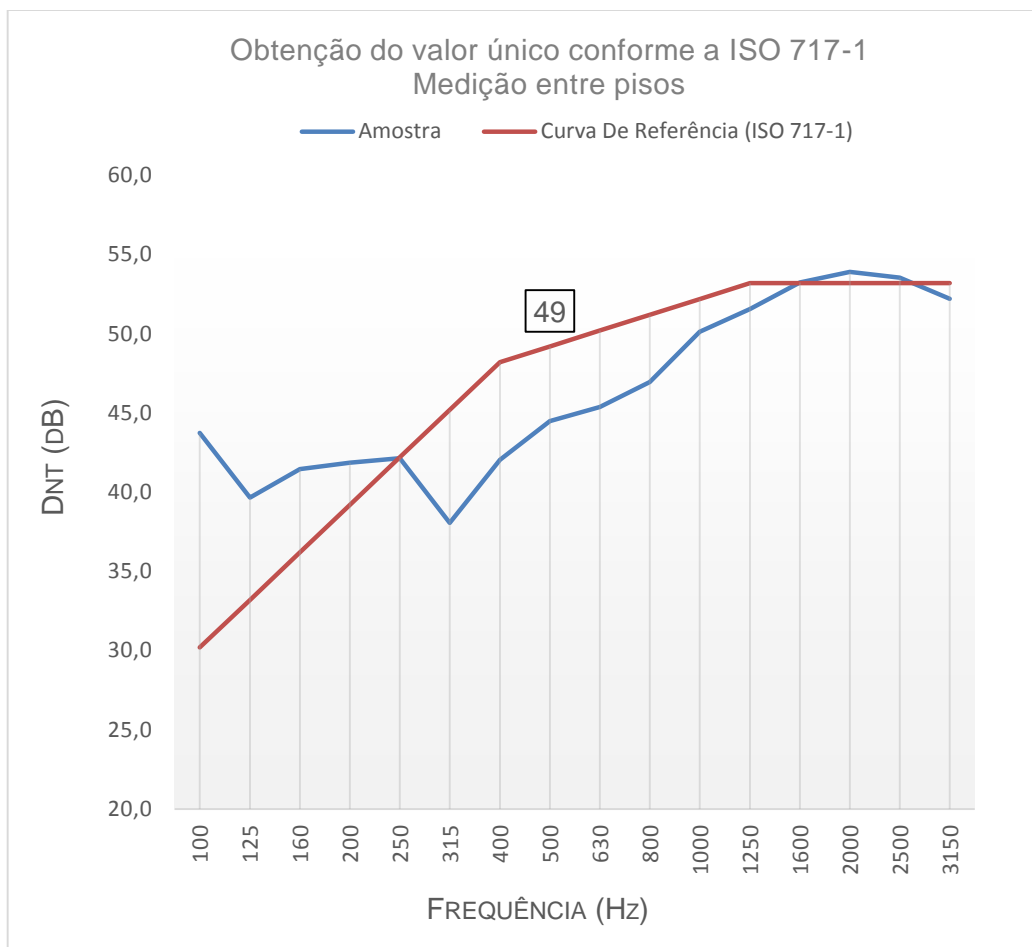
Σ desvios positivos (diferença) = 31,82 dB

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015b.

O valor de referência ajustado, na faixa de frequência de 500 Hz, ou seja, o valor único, $D_{nT,w}$, resultante é de 49,20 dB, ou seja, arredondando, 49 dB.

O ajuste da curva obtida, à curva de referência, foi ilustrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Obtenção do valor único conforme ISO 717-1 – medição entre pisos



Fonte: elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pelo itt Performance, 2015b.

Analisando o $D_{nT,w}$ obtido de 49 dB, foi classificado segundo a NBR 15.575, como atendendo positivamente o desempenho mínimo (QUADRO 12).

Quadro 12 – Resultado da medição entre pisos

Medição entre pisos - apartamento 2 e 3		
Local	Medição (dB)	Norma (dB)
Quarto (Apto 2) - Quarto (Apto 3)	49	≥45

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015b.

É necessário observar que, o ambiente receptor, QUARTO 3-6º Pav, apresentava em seu interior, móveis como guarda-roupas e cama com cabeceira estofada, além de elementos como tapetes.

Segundo a CBIC (2013), o limiar de atendimento do requisito mínimo indicado na Norma de Desempenho é atendido com a utilização de lajes de concreto armado com espessuras de 10cm ou 12cm, e que a partir dos 12 cm de espessura não há um ganho muito significativo do isolamento acústico. Além disso, os requisitos mínimos de ruído aéreo de pisos não contam com a colocação futura pelo usuário, de elementos ou carpetes, por exemplo, na unidade habitacional. Apenas o entrepiso da maneira como se encontra na entrega da obra, deve garantir o desempenho acústico mínimo.

Para que sejam alcançados níveis de desempenho Intermediário e Superior, é sugerido pela CBIC (2013), que sejam utilizados sistemas de concretos leves, forros acústicos, forros suspensos, porém mais efetivamente a utilização de pisos flutuantes que nada mais é que a introdução de um absorvedor de ruído entre laje de piso e o contrapiso, reagindo como um sistema massa/mola/massa.

4.2.5 Medição vedação vertical externa – fachada

A quarta e última medição foi realizada em vedação vertical externa, ou seja, fachada. Para isso foi definido o ambiente integrado pela sala de estar e jantar, cozinha, área de serviço e uma pequena circulação de acesso ao sanitário e dormitórios como o recinto interno, e, conforme a ISO 140-5, este será o recinto receptor de ruído. Esse ambiente localiza-se no apartamento denominado aqui, como apartamento 4.

O apartamento do presente experimento, pertence ao BLOCO B do empreendimento, diferentemente das medições anteriores, realizadas todas em apartamentos do BLOCO C, e situa-se no 2º pavimento da edificação, a aproximadamente 3 metros de altura. Dessa forma as medições foram realizadas com a fonte situada na área externa, no mesmo nível do pavimento térreo enquanto que o microfone é posicionado no 2º pavimento, e com uma angulação de 45º entre eixo de fonte e microfone. Ao avaliar o desempenho segundo a norma, são utilizados os mesmos parâmetros de fachada, $D_{2m,nT,w}$.

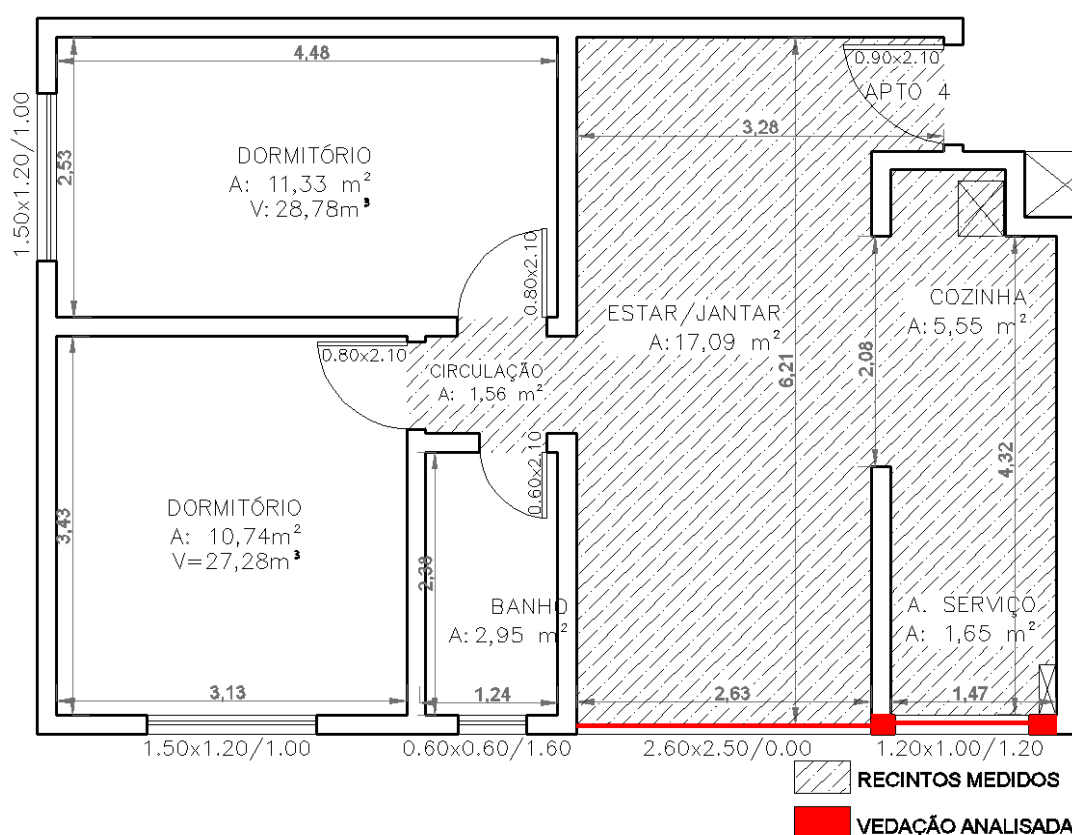
Para esta medição, tem-se apenas a volumetria do ambiente receptor, cerca de 65,66 m³, já que o ambiente emissor é a área externa à edificação, não sendo possível mensurar.

O recinto receptor, possui esquadria de vedação em vidro de 5 mm de espessura e dimensões de 2,60 m de largura por 2,50 m de altura, sendo parcialmente fixa, até a altura de 1,20 m, e posteriormente subdividida em 4 folhas, sendo duas folhas de correr e duas folhas fixas. Além dessa, há outra esquadria de janela em alumínio e vidro de 5mm, com dimensões de 1,20 m de largura por 1,00 m de altura situada na área de serviço. O ambiente é composto ainda, por portas de madeira sendo duas de dimensões 80 cm de largura por 2,10 m de altura, uma de 60 cm por 2,10 m de altura e outra de 90 cm por 2,10 m de altura.

O revestimento é constituído de piso em cerâmica e as paredes e o forro em argamassa de 1,5 cm de espessura, massa corrida e pintura em tinta acrílica.

A figura 24 apresenta a localização da fachada a ser medida.

Figura 24 – Localização da fachada medida



Fonte: Reproduzido pela autora com base no projeto original fornecido pela Empresa X, 2015.

A área da partição de isolamento, ou seja, a área da fachada destacada na Figura 23, volumetria interna e fatores climáticos medidos nos ambientes emissor e receptor, bem como desvio de calibração dos equipamentos encontram-se dentro da norma, e podem ser vistos no Quadro 13.

Quadro 13 – dados da medição de fachada

Dados medição de fachada	
Área da partição (m ²):	10,87
Volume do cômodo emissor (m ³):	-
Volume do cômodo receptor (m ³):	65,66
Temperatura na sala receptora (°C):	28,6
Umidade na sala receptora (%):	60,5
Temperatura na sala emissora (°C):	28,8
Umidade na sala emissora (%):	60,9
Desvio de calibração (dB):	-0,24

Fonte: adaptado pela autora, com base nos dados do itt Performance (2015c).

Primeiramente foram realizadas duas posições de fonte e 5 posições de microfone para cada posição de fonte a fim de medir o tempo de reverberação no recinto receptor, ou seja, ambiente interno. O posicionamento de fonte e microfone para tempo de reverberação pode ser visto, esquematicamente, no Apêndice J.

Após medir o tempo de reverberação, foram realizadas 2 posições de microfone a 2 m de distância pelo lado externo, para cada uma das 5 posições de fonte distanciadas da fachada, de forma a criar angulação de 45° com o microfone (APÊNDICE K). Essa medição teve o propósito de mensurar o nível médio de pressão sonora L_1 , 2m no ambiente emissor, que seria o ambiente externo.

Na sequência, foi medido o nível médio de pressão sonora L_2 , no recinto receptor, ambiente interno. As respectivas posições de fonte e microfone podem ser vistas no Apêndice L.

A média do tempo de reverberação, L_1 , L_2 , D e $D_{2m,nT}$ medido para cada frequência pode ser observada na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores de T_{20} , L_1 , L_2 , D e $D_{2m,nT}$, por frequência para medição da vedação vertical externa de fachada

Resumo dos valores obtidos na medição de fachada					
Frequência (Hz)	Tempo de reverberação T_{20} (s)	L_1 (dB)	L_2 (dB)	D (dB)	$D_{2m,nT}$ (dB)
100	2,97	84,19	68,71	15,48	23,22
125	4,84	88,29	80,72	7,57	17,43
160	4,04	87,98	83,42	4,56	13,63
200	3,43	87,09	78,70	8,39	16,75
250	3,33	87,11	72,32	14,79	23,02
315	3,54	89,18	76,15	13,03	21,53
400	3,83	87,53	73,53	14,00	22,84
500	3,93	86,88	72,62	14,26	23,21
630	3,48	85,32	71,29	14,03	22,46
800	3,28	83,70	71,39	12,31	20,48
1000	3,05	82,68	72,87	9,81	17,66
1250	3,08	83,12	74,74	8,38	16,28
1600	3,23	85,84	73,06	12,78	20,88
2000	3,13	83,12	67,65	15,47	23,44
2500	2,88	84,20	67,88	16,32	23,92
3150	2,60	82,61	65,27	17,34	24,50

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015c.

Sabem-se já, os valores de L_1 , L_{2m} e L_2 , então obtêm-se o D_{2m} , e padroniza-se esse valor para $D_{2m,nT}$, em cada frequência medida.

Ajustou-se então, a curva dos valores da diferença de pressão sonora padronizada $D_{2m,nT}$, à curva dos valores de referência, conforme a ISO 717-1. Os desvios desfavoráveis somaram 31,58 decibéis, estando, portanto, dentro do valor máximo de 32 decibéis, permitido pela norma. Os valores oriundos desse procedimento estão explícitos na Tabela 18.

Tabela 18 – Procedimento ISO 717-1 para obtenção do valor único – medição de fachada

Frequência (Hz)	Atenuação (Hz)	Valor de referência - 29,5	Diferença
100	24,62	3,5	
125	18,63	6,5	
160	14,63	9,5	
200	17,65	12,5	
250	23,82	15,5	
315	22,23	18,5	
400	23,44	21,5	
500	23,81	22,5	
630	23,06	23,5	0,44
800	21,08	24,5	3,42
1000	18,26	25,5	7,24
1250	16,88	26,5	9,62
1600	21,48	26,5	5,02
2000	24,04	26,5	2,46
2500	24,52	26,5	1,98
3150	25,10	26,5	1,40

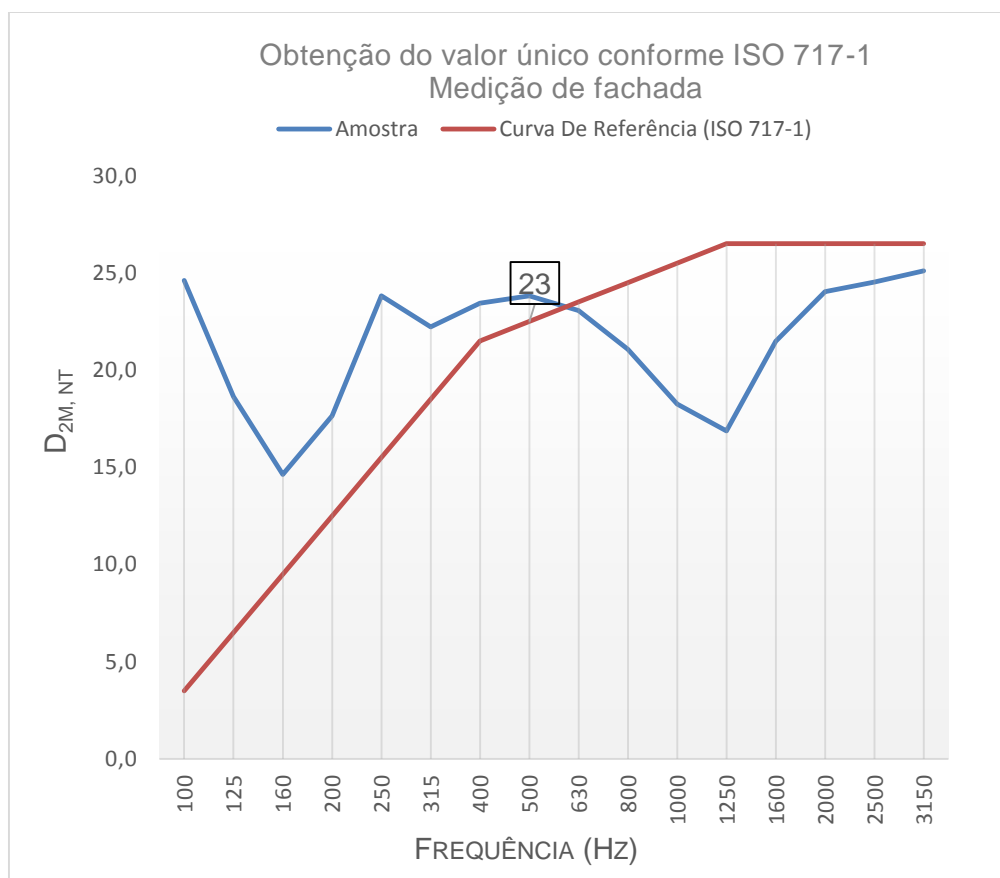
\sum desvios positivos (diferença) = 31,58 dB

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015c.

O valor de referência ajustado, na faixa de frequência de 500 Hz, ou seja, o valor único, $D_{2m,nT,w}$, resultante é de 22,50 dB, arredondando, 23 dB.

O ajuste da curva obtida, à curva de referência, foi ilustrado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Obtenção do valor único conforme ISO 717-1 – medição de fachada



Fonte: elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pelo itt Performance, 2015c.

Analisando o $D_{2m,nT,w}$ obtido de 23 dB, verifica-se que a fachada não atende ao desempenho sonoro aéreo mínimo estabelecido na NBR 15.575 (QUADRO 14). É importante ressaltar, que o isolamento sonoro abaixo do especificado pela norma gera desconforto ao usuário.

Quadro 14 – Resultado da medição de fachada

Medição de fachada		
Local	Medição (dB)	Norma (dB)
Apto 4 - sala estar + cozinha + área serviço + circulação	23	≥25

Fonte: elaborado pela autora com base nos dados do itt Performance, 2015.

Porém, é preciso observar ainda, que a norma não estabelece critérios para isolamento sonoro entre fachada e ambientes que se diferenciem de dormitório, e para esta medição utilizou o ambiente que integra sala de estar/jantar, com cozinha, área

de serviço e circulação e não o dormitório. Dessa forma, a Norma de Desempenho deixa uma brecha para discussão, onde não é possível afirmar que a vedação externa do presente estudo, realmente não atende ao requisito mínimo. Seriam necessários, por parte da NBR 15.575, mais situações de exposição para enquadramento em conformidade com a medição realizada.

Este resultado de 23 dB pode ser devido à presença da esquadria de vedação em vidro de 5 mm de espessura, ao longo de todo pé direito da fachada, aproximadamente 2,50 m de altura, com largura de 2,60 m, parcialmente fixa, até a altura de 1,20 m, após subdividida em 4 folhas, com duas delas fixas e duas de correr. Além do mais, há a outra esquadria de janela da área de serviço em alumínio e vidro de 5mm, com dimensões de 1,20 m de largura por 1,00 m de altura situada na área de serviço.

Ao considerar que área da partição de fachada mede cerca de 10,87 m² no total, e que dentre este valor, há duas esquadrias, uma de 2,60m x 2,50 e outra de 1,20m x 1,00m, totalizando uma área de vidro de 7,70m², verifica-se que aproximadamente 70% da fachada é composta de vidro 5 mm, e apenas 30% é composta por alvenaria de bloco cerâmico de 14 cm, argamassa de revestimento de 1,5 cm de espessura e tinta acrílica.

O vidro apresenta isolamento sonoro R_w , inferior ao do sistema de alvenaria composto por bloco cerâmico e reboco, numa escala aproximada de 15 dB para vidro e, 36 dB para alvenaria, segundo dados da NBR 101. Portanto, 70% da fachada medida apresenta um isolamento sonoro com menos da metade da eficiência, que os 30% restantes. Além do mais, as frestas das esquadrias são locais de iminente entrada de ruído. Considerando que o ar possui coeficiente de absorção sonora igual a 1, as frestas são pontos críticos que devem ser suprimidos o máximo possível através de boas vedações nas esquadrias com o objetivo de se obter um bom isolamento sonoro, também em um contexto geral da edificação.

Imagens da medição realizada entre dormitórios e entre pisos podem ser vistas, respectivamente, nos Apêndices M e N.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a expansão econômica do país, houve um grande impulso no setor da construção civil. Porém, esse impulso gerado, trouxe alguns fatores negativos para a qualidade das construções, já que se optou pela racionalização de tempo e recursos, reduzindo-se o peso da obra. Essa redução de peso da construção é alcançada com a utilização de materiais construtivos cada vez mais leves, que acabam, em alguns casos, comprometendo a qualidade do desempenho acústico da edificação. Isso também pode ser explicado pela Lei da Massa, que trata que o isolamento aumenta para um material mais denso.

Uma funcionalidade da obra muito afetada com a implementação de materiais leves na construção civil é o isolamento acústico, que possui grande histórico de insatisfação por parte dos consumidores devido ao desconforto gerado por ruídos transmitidos à habitação.

A racionalização dos recursos tende a afetar principalmente, obras de padrão mais simples, como as habitações atendidas pelo Programa Minha Casa Minha Vida, onde a busca da redução de custos é um fator determinante no valor final do produto, o qual deve encaixar-se no valor limite estabelecido para financiamento conforme o programa.

Em julho de 2013, ocorre uma evolução na busca de uma mudança desse modelo de construção deficiente. É publicada a Norma de Desempenho, NBR 15.575, visando a melhoria da qualidade e desempenho das habitações. Empreendimentos

com configurações populares, não diferem em nada dos demais, no que se trata do dever de atender aos requisitos exigidos pela norma.

A norma tem força de lei e atribui responsabilidade a diversos profissionais como incorporadores, construtores, projetistas e fornecedores, além do próprio consumidor, através de uma série de conceitos relativos ao comportamento e uso dos sistemas e componentes da edificação. Em caso de não atendimento dos requisitos, por exemplo, o consumidor poderá recorrer a Lei de Defesa do Consumidor para exigir desempenho do seu imóvel, se o projeto foi protocolado a partir de julho do ano de 2013.

Isso deverá refletir num melhor relacionamento entre os diversos profissionais da área, pois esclarece melhor qual a responsabilidade de cada um. Além do mais, tanto empresas como profissionais, que possuem mais conhecimento sobre as exigências da norma, poderão sair na frente, apresentando aos seus consumidores um produto dentro da legislação, e diferenciado dos demais que ainda não tiveram as devidas preocupações.

Assim deverá acontecer toda uma mudança cultural no quesito de pensar um projeto e executá-lo. As etapas de concepção, realização e manutenção do projeto deverão ser planejadas com uma visão global e de longo prazo onde todos os elementos funcionem conjuntamente e eficientemente.

A tendência é que os níveis de desempenho estabelecidos pela norma acabem sendo utilizados pelas empresas que se adaptarem, como ferramentas de *marketing*, incentivando o consumidor a observar além do preço, se o imóvel apresenta o desempenho devido. Pois, com a implementação da Norma de Desempenho, uma alta nos custos da edificação poderá ocorrer. Vários materiais e procedimentos deverão ser revistos, principalmente em edificações de baixo padrão, além dos ensaios de verificação do desempenho, que agregarão um valor que antes não era aplicado.

Além do consumidor, quem passará a exigir o enquadramento do empreendimento na NBR 15575, serão as entidades de financiamento, e sendo assim, os construtores buscarão se enquadrar, a fim de não perder mercado. Por fim, o usuário será o maior beneficiado com a implementação da norma.

Pesquisas apontam que as maiores reclamações por parte dos consumidores em habitações estão relacionadas à emissão ruídos, oriundos do interior e exterior da edificação, ocasionando desconforto.

De acordo com a CBIC (2013), a Norma de Desempenho não estabelece critérios para conforto acústico, como é o caso da NBR 10152 – “Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes internos às edificações” e da NBR 10151 – “Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos às edificações”.

Este trabalho esteve focado no desempenho acústico de vedações internas e externa onde foi analisado apenas o desempenho do isolamento sonoro aéreo. Sugere-se que, em futuros trabalhos, sejam também analisados o ruído de impacto de vedações horizontais e ruído aéreo oriundo das instalações.

No presente trabalho foram analisadas 4 situações. A primeira entre dormitórios, a segunda entre ambiente integrado por sala de estar e jantar, cozinha, área de serviço e circulação de dois apartamentos geminados, a terceira entre dois dormitórios de pavimentos distintos, e a última entre fachada e ambiente integrado por sala de estar e jantar, cozinha, área de serviço e circulação. Para futuros trabalhos, seria interessante analisar o isolamento sonoro aéreo em outros ambientes e situações do empreendimento e isolamento sonoro de impacto a fim de que se possa classificar o desempenho acústico do edifício dentro dos parâmetros da NBR 15.575 na sua totalidade.

Outra sugestão seria avaliar edificações com sistemas construtivos, materiais e características diferentes das existentes no presente trabalho.

Observou-se com esse trabalho, que vários fatores são fortes influenciadores do desempenho final da edificação, como volume dos ambientes, utilizado para corrigir o índice de isolamento; características dos materiais, espessuras e densidade dos mesmos, que interferem no coeficiente de absorção sonora; disposição das esquadrias e a vedação das mesmas, sendo que qualquer fresta é um caminho livre para passagem de som. Sendo assim, o projetista deve fazer um estudo inicial avaliando todas essas características e desenvolvendo seu projeto a partir disso, e o executor deve acompanhar constantemente se todas as etapas construtivas estão

sendo realizadas satisfatoriamente para que, ao final da execução, não haja surpresas, e o desempenho desejado tenha sido alcançado.

Dentre as quatro medições realizadas no presente trabalho, as três primeiras obtiveram resultados positivos, dentro do requisito mínimo estipulado pela Norma de Desempenho.

Segundo Neto e Bertoli, apud Vittorino (20--), nos sistemas de vedações a energia é em parte propagada para outros ambientes e em parte transmitida por outros caminhos, que não o recinto receptor, o que explica porque sistemas pesados podem sair-se melhor para a situação em campo do que em laboratório. Em uma análise realizada em campo para paredes com configurações similares às analisadas no presente trabalho, onde o sistema foi composto por bloco de 14 cm de largura e revestimento de 10 mm de espessura, Neto e Bertoli, apud Vittorino (20--), verificaram um isolamento sonoro aéreo ($D_{nT,w}$) variando entre 41 dB e 44 dB, os mesmos valores obtidos nas medições deste trabalho, onde entre dormitórios obteve-se $D_{nT,w}$ igual a 41 dB e entre unidades autônomas $D_{nT,w}$ igual a 44 dB, o que configura desempenho mínimo no Brasil.

Considerando o exposto por Neto e Bertoli (2010), foi verificado 2 dB a mais para medições em campo, em comparação com medições em laboratório. De acordo com Bistafa e Paixão, apud Neto e Bertoli (2010), isso se deve a fatores influenciadores, por exemplo, a maneira como é colocada a argamassa, a existência de orifícios e de caixas de luz, a estrutura do edifício, a rigidez da parede, o amortecimento interno, a frequência crítica, o efeito de coincidência e a ressonância. Portanto, em contrapartida a Lei das Massas, existem todos esses aspectos citados que também devem ser considerados (NETO E BERTOLI, 2010).

Sendo assim, se fosse levantado o valor de isolamento sonoro aéreo de laboratório, R_w , para a medição entre dormitórios que obteve $D_{nT,w}$ igual a 41 dB, com possivelmente 2 dB a menos, não alcançaria o requisito mínimo da Norma. Isso indica que devem ser buscadas melhorias tanto nas práticas de construção civil como nos sistemas de alvenaria como um todo, de forma a atingir níveis que realmente garantam o desempenho requerido, independentemente do tipo de análise a ser realizada.

De acordo com Nunes (2014), o sistema de piso composto por laje treliçada e piso cerâmico, também utilizado no empreendimento analisado neste estudo de caso, resulta em um valor de isolamento ($D_{nT,w}$) igual a 49 dB, o mesmo valor obtido através das medições realizadas aqui, o que atende ao desempenho sonoro aéreo mínimo da Norma de Desempenho.

Ainda segundo Nunes (2014), melhores desempenhos acústicos englobando ruídos aéreos e de impacto, foram verificados através do sistema composto por laje nervurada com cubetas de EPS, revestidas com contrapiso de argamassa com brita leve 5 cm e argamassa comum 2 cm mais laminado de madeira de 7mm, e do sistema de laje composta por concreto maciço de 10 cm de espessura revestido por contrapiso de argamassa comum de 5 cm mais laminado de madeira 7mm, com manta de fibras de polipropileno 5mm.

Apenas a quarta medição não alcançou o desempenho mínimo, se comparado aos valores estipulados como requisitos para vedação de fachada de dormitórios. Porém, a quarta medição não foi realizada para uma fachada que isola um dormitório, e sim para uma fachada que isola um ambiente onde estão integrados, sala de estar/jantar, cozinha, área de serviço, e uma pequena circulação. Considerando que a norma não estipula requisitos mínimos para essa situação, tem-se aí uma brecha para discussão.

Segundo a CBIC (2013), o desempenho acústico da envoltória das edificações, pode ser reduzido em mais de 30% em decorrência da presença de frestas nas coberturas e nas fachadas. Outros fatores influenciadores do isolamento acústico de fachada seria a utilização da prática de juntas secas nas alvenarias (inexistência de argamassa nas juntas verticais de assentamento), falta de adensamento da argamassa ou irregularidades de assentamento principalmente nos encunhamentos/ligações de paredes com o fundo de vigas e lajes, falhas de rejuntamento no encontro entre parede e caixilho, e janelas sem a correta vedação entre folhas móveis e fixas, cujos encontros devem ser guarnecidos com escovas e gaxetas produzidas em materiais resilientes (CBIC, 2013).

Como sugestão para melhoramento da fachada estudada é sugerida a verificação de todas as vedações das esquadrias e a implantação do sistema de vidro

duplo, também denominado vidro insulado, que segundo a Abravidro (20--), tem como benefícios, além da durabilidade, privacidade, máximo aproveitamento da luz natural, controle da luminosidade e isolamento térmico, o isolamento acústico já que atenua as ondas sonoras em níveis superiores ao do vidro comum com melhor resultado devido a utilização de gases especiais.

A norma ainda possui outros dois níveis de caracterização do desempenho, sendo eles intermediário (M) e superior (S), que embora não sendo obrigatórios, é interessante pelo ponto de vista de qualidade da edificação, que se busque sempre aprimorar sua eficiência, sendo que os níveis de desempenho impostos pela norma brasileira, NBR 15575, ainda são inferiores aos praticados nos países desenvolvidos.

Um fator importante que tange a verificação do desempenho, é a real dificuldade com que se apresentam as metodologias de medição estabelecidas pela norma. O método de engenharia utilizado neste trabalho, é descrito pelas ISO 16.283-1 e ISO140-5, o que pode representar um obstáculo já que as mesmas possuem custo elevado. Além disso, os equipamentos prescritos para essas medições também são custosos, o que reflete em valor de laudo elevado.

Outro empecilho é a carência de laboratórios que efetuam essas medições, conforme a norma. O Itt Performance possui especialistas capacitados no tema, e pode ser citado como alternativa para as empresas que necessitem medir e comprovar o desempenho acústico das suas edificações.

Como sugestão final, é salientada a necessidade de exteriorizar os conceitos de desempenho a todos envolvidos no processo construtivo a fim de conscientizar e esclarecer as dúvidas à cerca do tema. Haverá um processo trabalhoso na mudança do cenário atual. Mas com intenso estudo em novas tecnologias, uma nova cultura construtiva tende a ser criada, culminando na realização de projetos mais responsáveis.

REFERÊNCIAS

ABRAVIRO. **Tipos de vidros - Vidro insulado ou duplo**, 20--. Disponível em: <http://www.abravidro.org.br/vidro_insulado.asp>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

ASBEA, Davi Eng^o Civil, **Os requisitos de desempenho acústico do ponto de vista do projeto de Arquitetura**, Disponível em: <http://www.asbea.org.br/download/Davi_Akkerman_AsBEA_Rio.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho**, 2013.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL (BNDES). **Perspectivas do investimento 2010**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv_perspectivas/09_Perspectivas_do_Investimento_2010_13_CONSTRUCAO_CIVIL.pdf> Acesso em: 25 set. 2014.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada no controle do ruído**. São Paulo: Ed. Blucher, 2006.

BRASIL, Lei nº 8.078 de 1990. **Código de Defesa do Consumidor**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078.htm>. Acesso em: 30 set. 2014.

_____. Lei nº 10.406 de 2002. **Código Civil**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406.htm>. Acesso em: 30 set. 2014.

BKSV. **Sound Calibrator Type 4231**. Disponível em: <<http://www.bksv.com/products/transducers/acoustic/calibrators/4231>>. Acesso em: 25 maio 2015.

_____. **4189 - ½-inch free-field microphone, 6.3 Hz to 20 kHz, prepolarized**. Disponível em: <<http://www.bksv.com/Products/transducers/acoustic/microphones/microphone-cartridges/4189>>. Acesso em: 25 maio 2015.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Demanda habitacional no Brasil / Caixa Econômica Federal**. Brasília: 2011.

CARNEIRO, Waldir A. M. **Barulho em apartamentos pode ter origem em defeito de construção**. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.chegadebarulho.com/Conteudo_artigos.htm>. Acesso em: 01 out. 2014.

_____. **Cartilha - Minha Casa Minha Vida**. 200-. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/MarcosFSilva1/cartilha-completa-minha-casa-minha-vida>>. Acesso em: 10 out. 2014.

CARVALHO, Régio P. **Acústica Arquitetônica**. Brasília: Ed. Thesaurus, 2006.

CBIC. **Brasil adota novos padrões de qualidade para construção de casas e apartamentos**, 2013. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/brasil-adota-novos-padroes-de-qualidade-para-construcao-de-casas-e-apartame>> Acesso em: 20 set. 2014.

_____. **Desempenho de edificações habitacionais – Guia orientativo para atendimento a Norma ABNT NBR 15575/2013**, 2013. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho_2_edicao.pdf> Acesso em: 13 jun. 2015.

CESVA, **Fontes sonoras**. Disponível em: <<http://www.cesva.com/pt/produtos/fontes-sonoras/>>. Acesso em: 12 out. 2014.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para Trabalhos Acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

COSTA, Ennio C. **Acústica Técnica**. São Paulo: Ed. Blucher, 2003.

FONÉTICA E FONOLOGIA. **O som: amplitude, comprimento de onda, período e frequência**. Disponível em: <http://www.fonologia.org/acustica_osom_2.php>. Acesso em 07 nov. 2014.

EMPRESA X. **Projetos arquitetônicos**. Lajeado, 2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. **Déficit habitacional no Brasil**, 2000. Convênio PNUD/Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano (Presidência da República), Belo Horizonte, 2005.

GARCIA, Fernando; CASTELO, Ana M. O déficit habitacional cresce apesar da ampliação do crédito. **Conjuntura da Construção**, ano 4, n. 1, p. 8-11, março de 2006.

GERGES, Samyr N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: Ed. NR, 2000.

GOOGLE EARTH **Explore the Earth on Google** Disponível em: <<http://earth.google.com/gallery/index.html>> Acesso em: 22 abr. 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-4**, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms, 1998.

_____. **ISO 140-5**. Acoustics– Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades, 1998.

_____. **ISO 717-1** Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements, Part 1: Airborne sound insulation, 2013.

_____. **ISO 16.283-1** Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound, 2013.

ITT PERFORMANCE, **Sobre** Disponível em:

<<http://www.unisinos.br/itt/ittperformance/sobre>>. Acesso em: 30 abr. 2015a.

_____. **Resultados: Diferença padronizada de nível de acordo com ISO 16283-1 Medições em campo de ruído aéreo entre cômodos**. São Leopoldo, 2015b.

_____. **Resultados: Diferença padronizada de nível de acordo com ISO 140-5 Medições de campo de ruído aéreo em elementos de fachada e fachadas**. São Leopoldo, 2015c.

MICHALSKI, Ranny L. X. N. **Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações**. Rio de Janeiro, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, **Manual de instruções**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosCidades/Manual_HIS_-_FNHIS.pdf> Acesso em 10 de outubro de 2014.2012

NETO e BERTOLI, M. F. F e S. R. **Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400012&script=sci_arttext> Acesso em: 15 de junho de 2015. Porto Alegre, 2010.

NUNES, M. F. O. **Desempenho Acústico de Sistemas de Piso: Estudos de Caso Para Isolamento ao Ruído Aéreo e de Impacto**. Caxias do Sul, 2014. Disponível em: http://www.academia.edu/9931709/Desempenho_Ac%C3%B4stico_de_Sistemas_de_Piso_Estudos_de_Caso_Para_Isolamento_ao_Ru%C3%ADdo_A%C3%A9reo_e_de_Impacto Acesso em 15 de junho de 2015.

PINI, **Por que atender à Norma de Desempenho**. 2010. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/gestao/por-que-atender-a-norma-de-desempenho-173881-1.aspx>>. Acesso em: 25 out. 2014.

PROACÚSTICA. **Manual ProAcústica sobre a norma de desempenho.** Ed. RUSH Gráfica e Editora Ltda, 1. ed. 2013.

ROCHA, Leonardo Z. **Estudo e análise da acústica de ambientes submetidos à sistemas de áudio.** Porto Alegre, 2004.

SANTOS, Jorge L. P. dos, **Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora.** Santa Maria: Ed. Da UFSM, 2005.

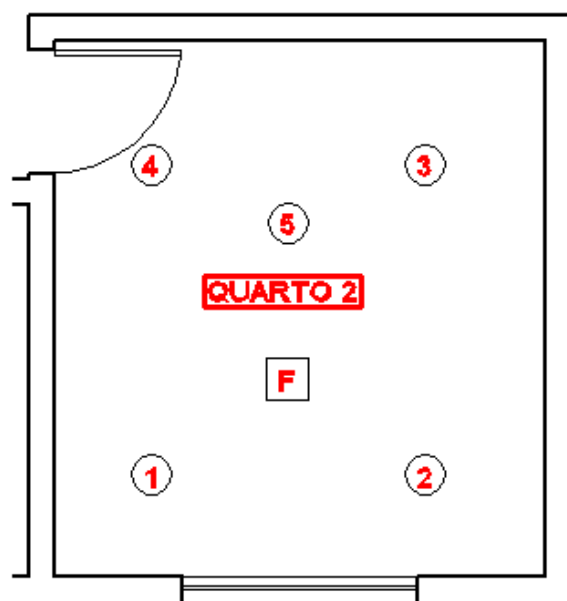
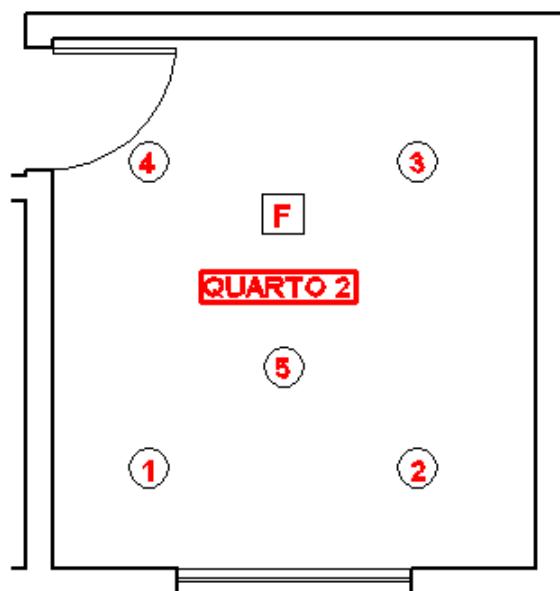
SILVA, Pérides. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar (simplificado).** Belo Horizonte: Ed. EDTAL E. T. Ltda, 2005.

TERRITÓRIO DA MÚSICA, **Hertz... pra que te quero?** 2003. Disponível em: <<http://www.territoriomusica.com/preproducao/?c=64>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

VITTORINO, F. **Requisitos de Conforto Acústico, Desempenho Acústico e as Experiências de ensaios de laboratório e campo.** Disponível em: <http://www.proacustica.org.br/assets/files/DiaRuido/Apresentacoes-2013/FulvioVitorino_IPT_24AbrilProAcustica.pdf> Acesso em: 15 de junho de 2015. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, (20--).

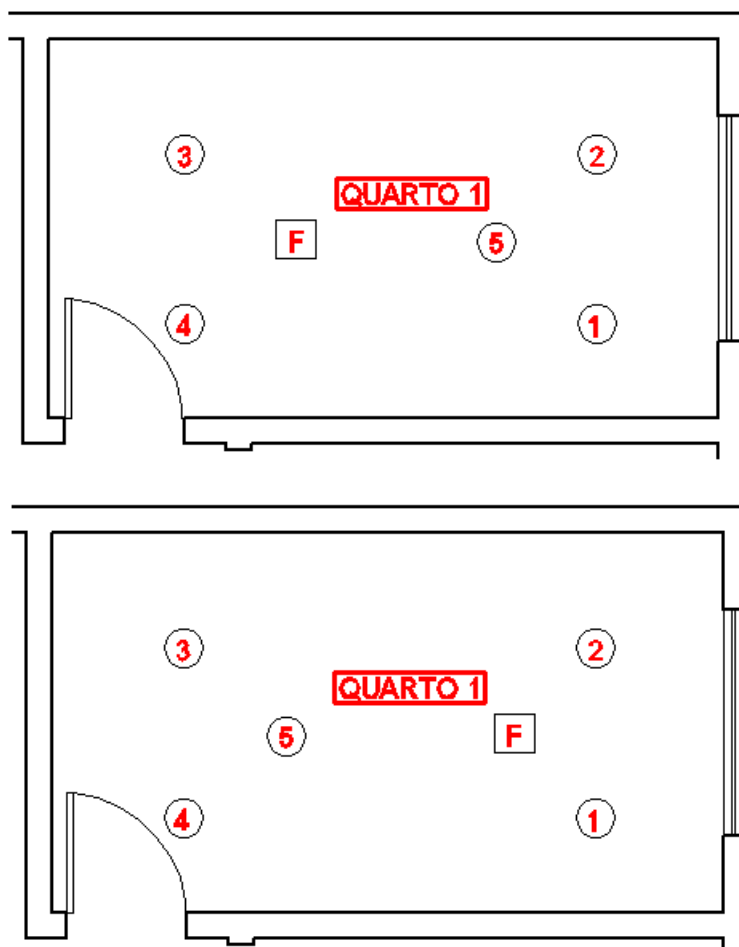
APÊNDICES

Apêndice A - Posições de fonte e microfone para medição do tempo de reverberação T_{20} no recinto receptor – entre dormitórios



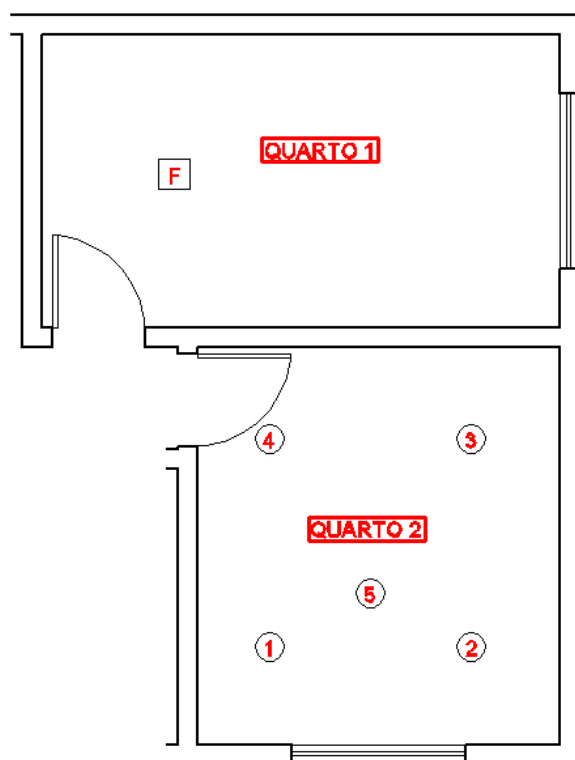
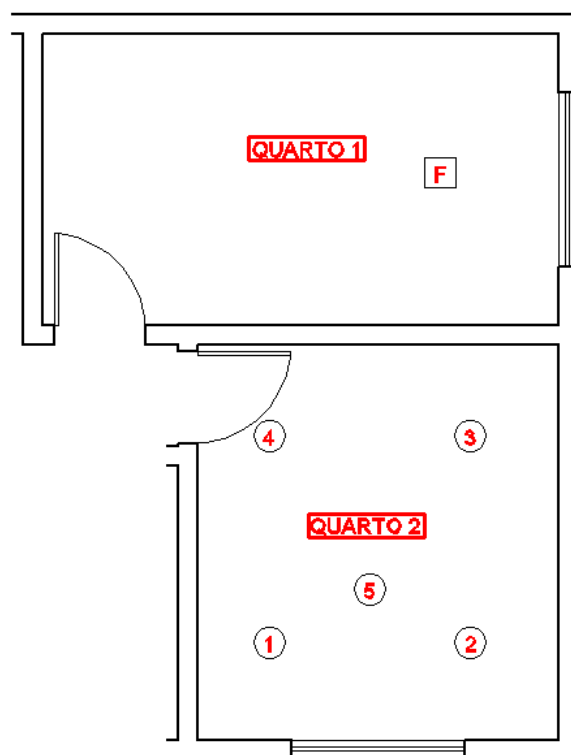
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice B - Posições de fonte e microfone para medição do L_1 no recinto emissor – entre dormitórios



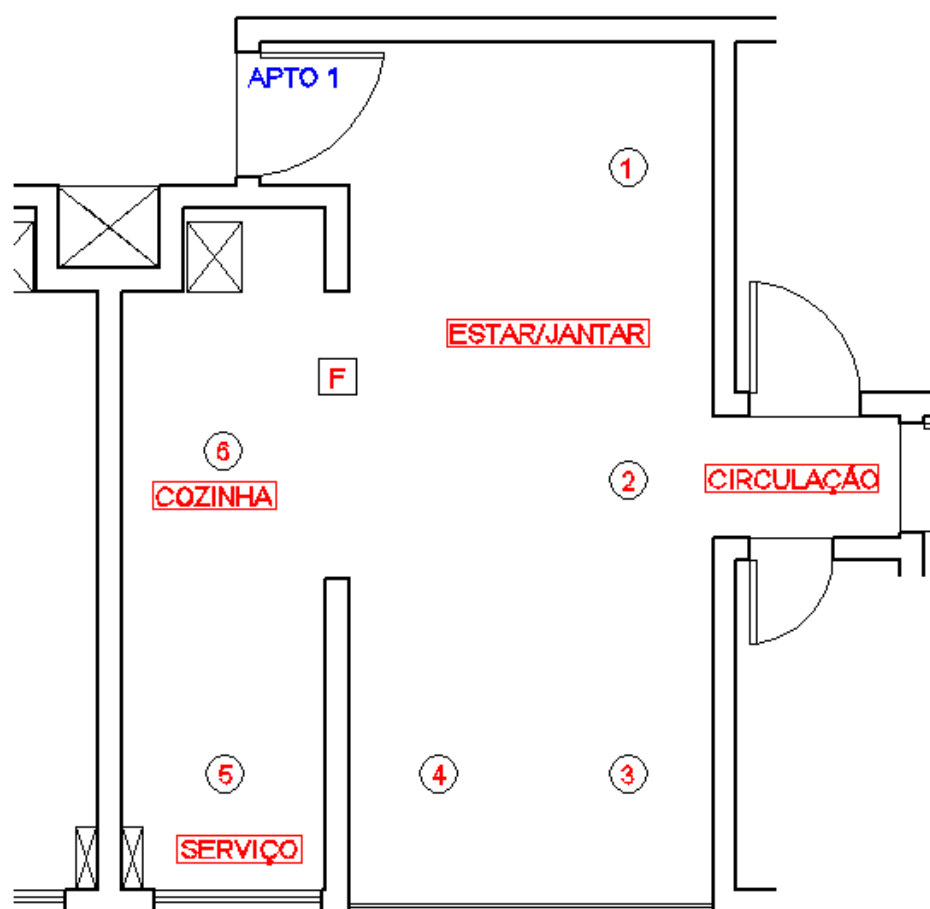
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice C - Posições de fonte e microfone para medição do L_2 no recinto receptor – entre dormitórios



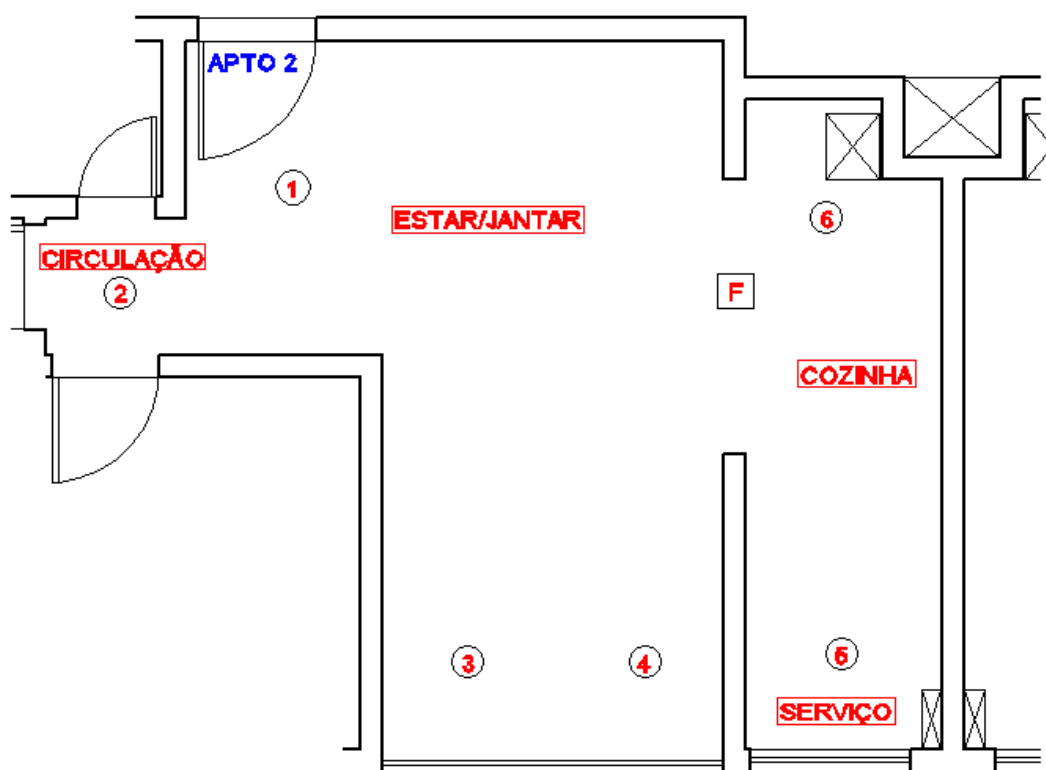
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice D - Posições de fonte e microfone para medição do tempo de reverberação T_{20} no ambiente receptor – entre unidades distintas



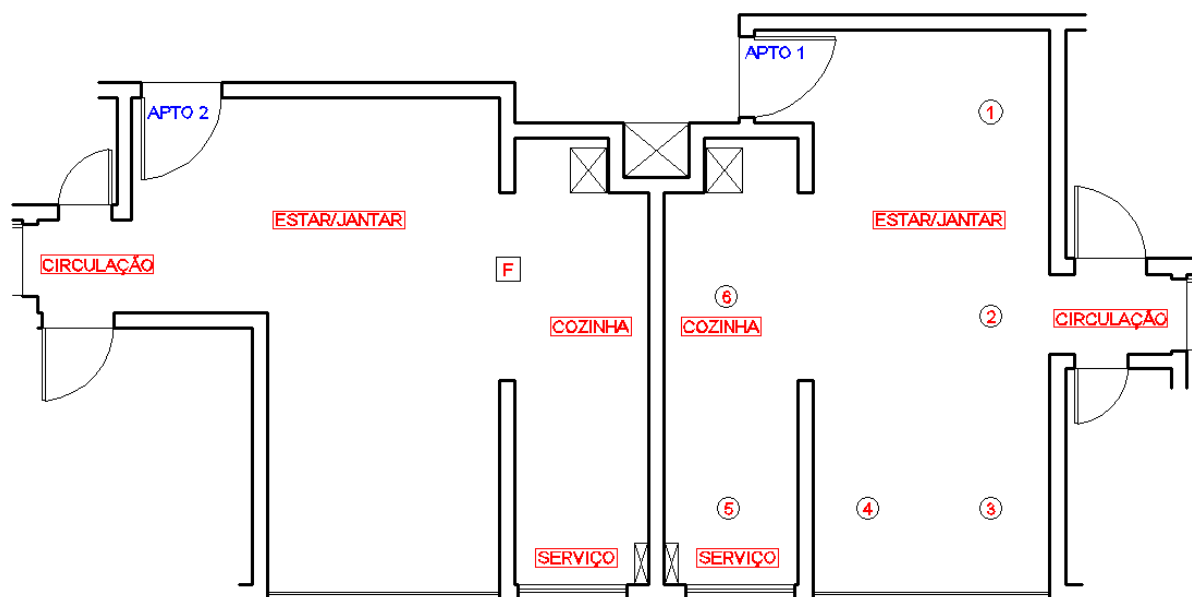
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice E - Posições de fonte e microfone para medição do L_1 no recinto emissor – entre unidades distintas



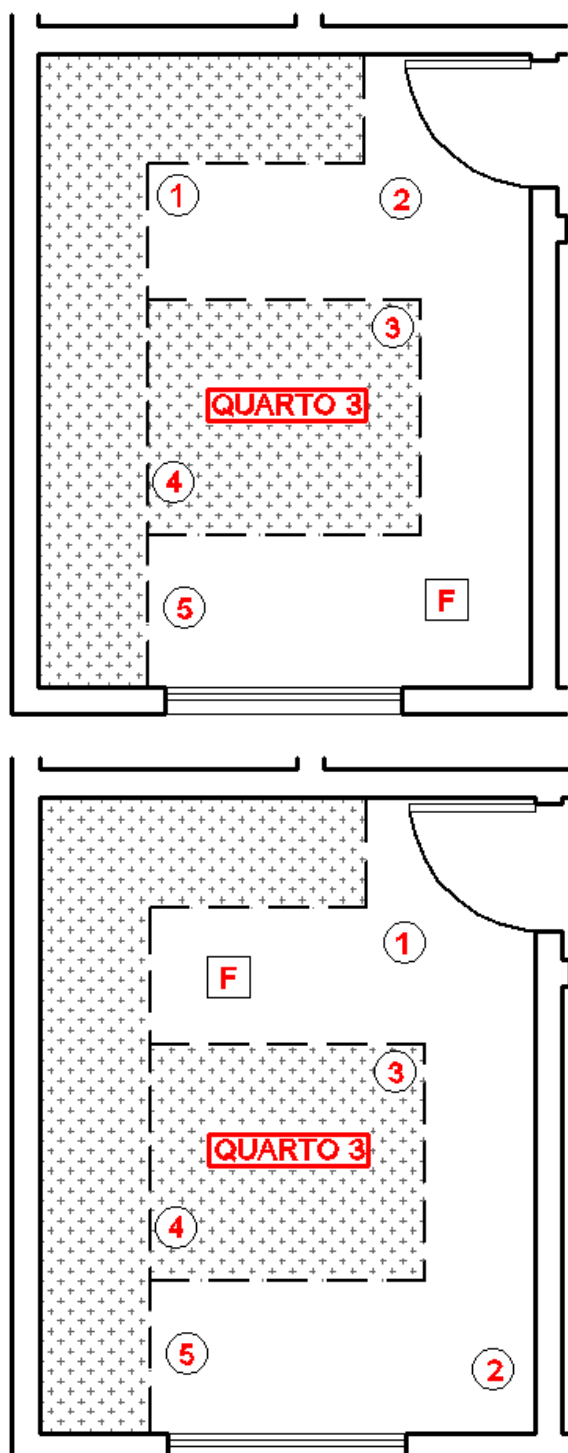
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice F - Posições de fonte e microfone para medição do L_2 no ambiente receptor – entre unidades distintas



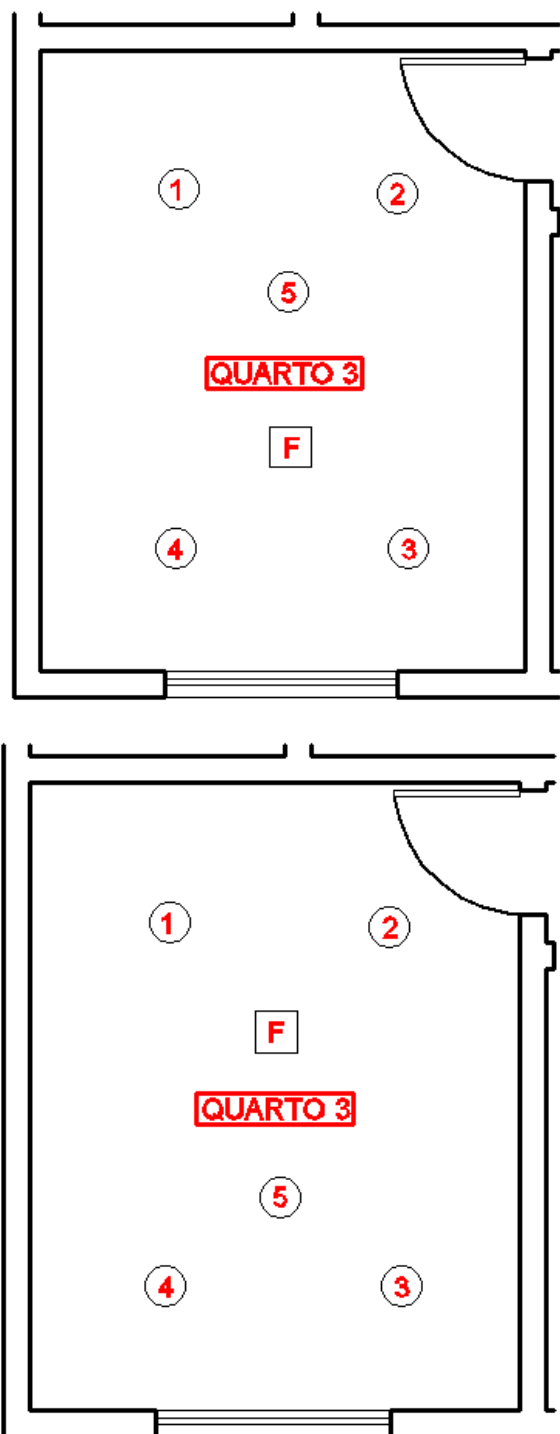
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice G - Posições de fonte e microfone para medição do tempo de reverberação T_{20} no ambiente receptor – entre pisos



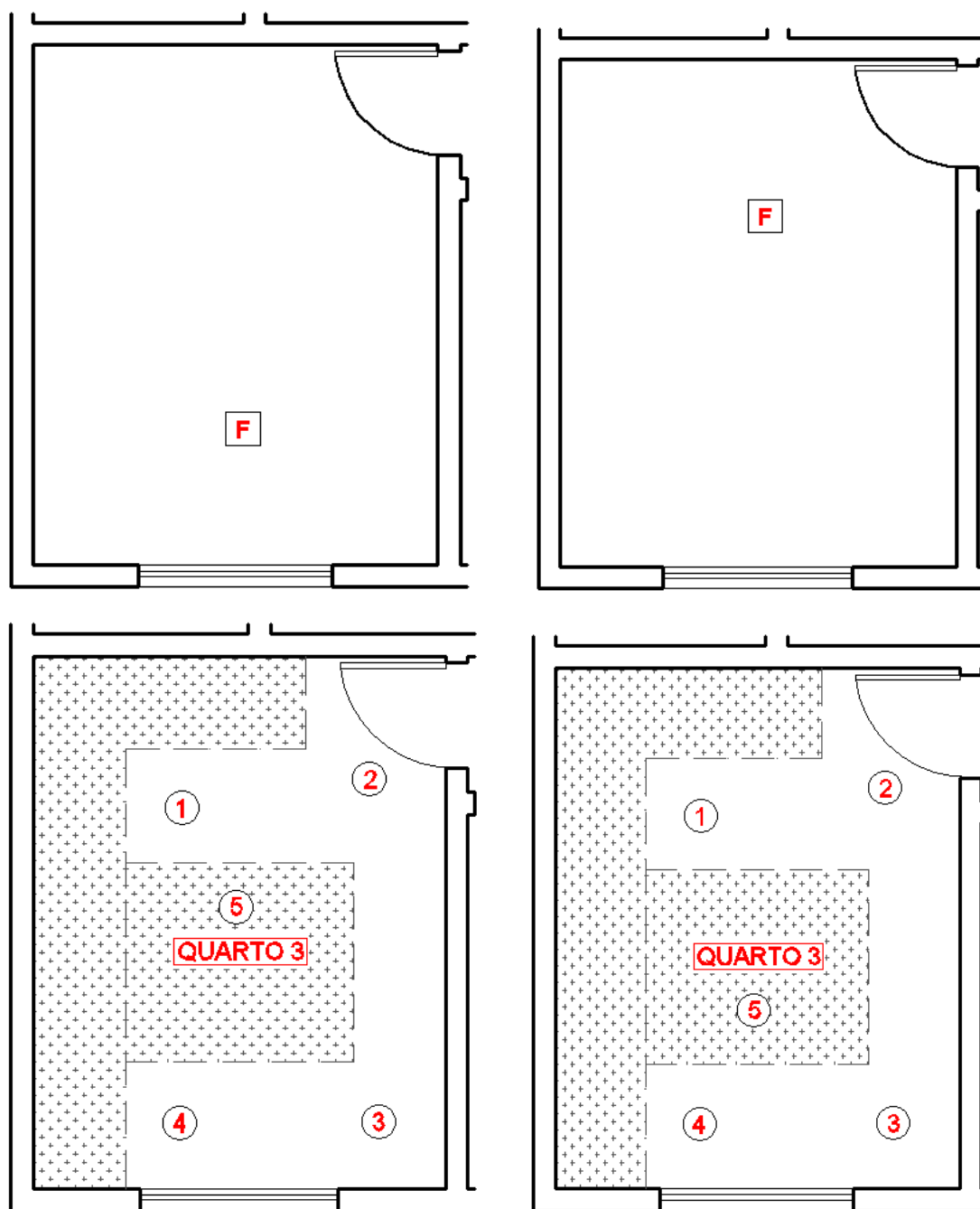
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice H - Posições de fonte e microfone para medição do L_1 no recinto emissor – entre pisos



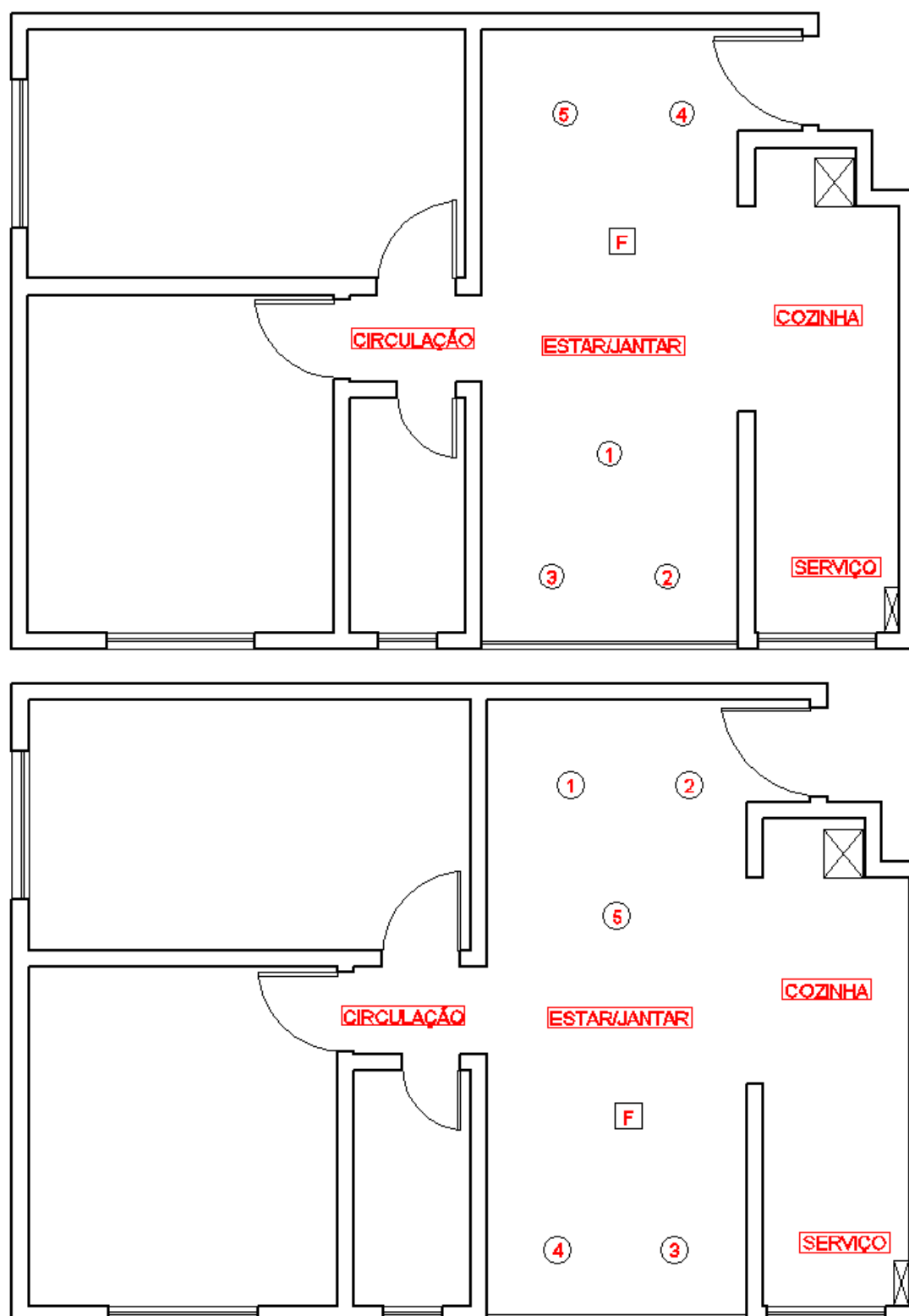
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice I - Posições de fonte e microfone, nos recintos emissor e receptor, respectivamente, para medição do L_2 – entre pisos



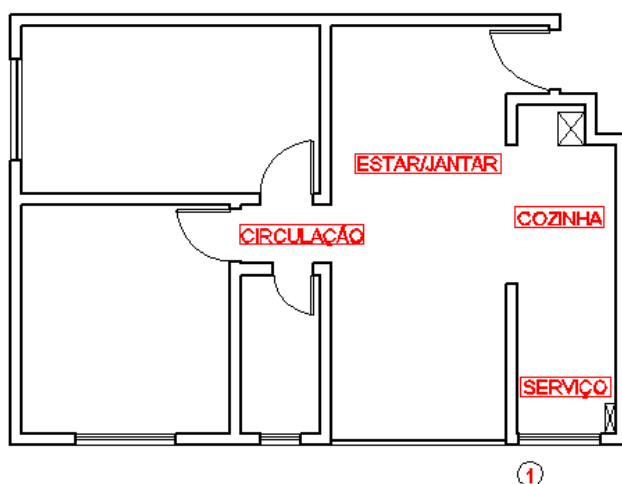
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice J - Posições de fonte e microfone para medição do tempo de reverberação T_{20} no ambiente receptor – medição de fachada



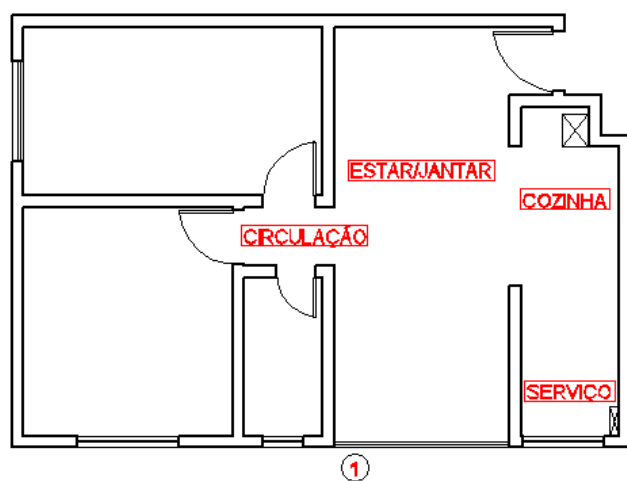
Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice K - Posições de fonte no ambiente emissor e microfone a 2 m da fachada para medição do $L_{1,2m}$ – medição de fachada



1F 3F 5F

2F 4F

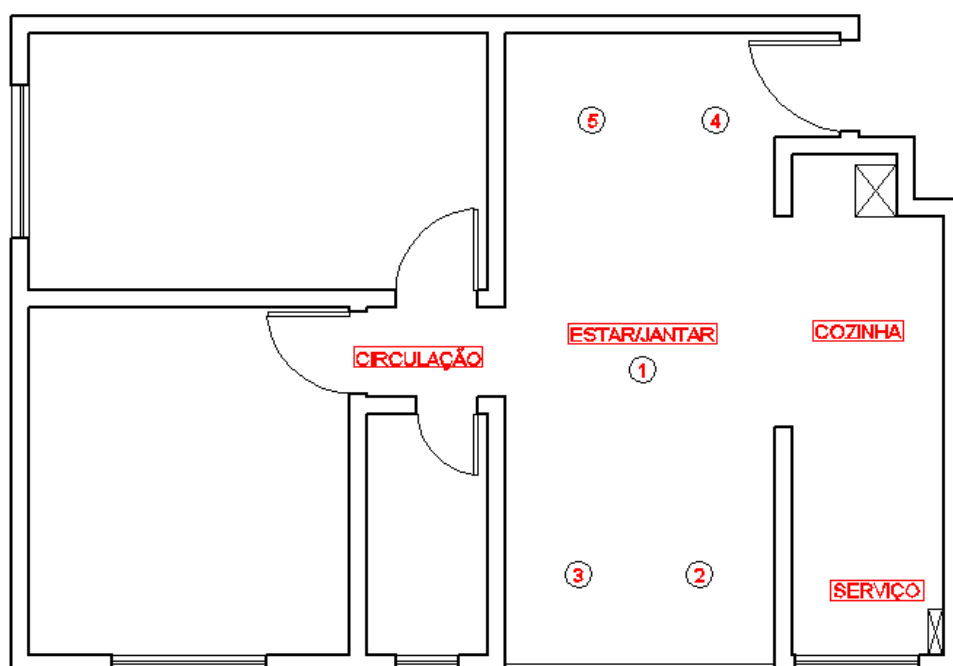


5F 3F 1F

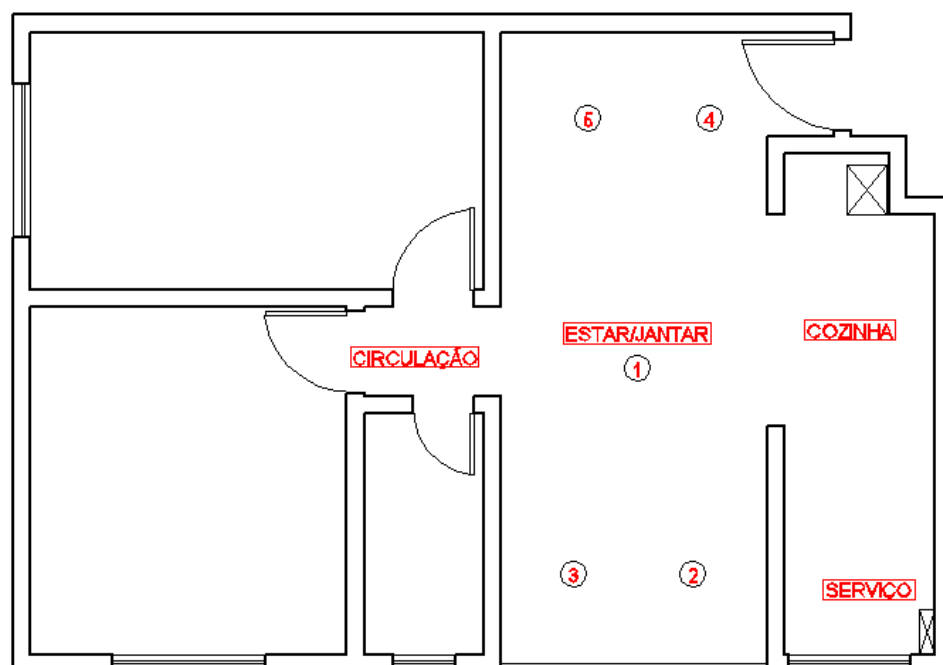
4F 2F

Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice L - Posições de fonte e microfone, nos recintos emissor e receptor, respectivamente, para medição do L_2 – medição de fachada



F



F

Fonte: elaborado pela autora.

Apêndice M – Imagem da medição realizada entre dormitórios



Fonte: Foto tirada pela autora, 2015.

Apêndice N – Imagem da medição realizada entre pisos

Fonte: Foto tirada pela autora, 2015.